



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

LEVANTAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE PLANTA DE
POLIESTIRENO PARA CINTAC S.A.I.C

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

MARIO BASTIÁN MEDINA ROA

PROFESOR GUIA:
MATIAS TOBAR GIGOUX

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
PATRICIO MORALES MACHER
RAFAEL SILVA MUÑOZ

SANTIAGO DE CHILE

2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero civil
industrial
POR: Mario Bastián Medina Roa
FECHA: 2024
PROFESOR GUÍA: Matías Tobar Gigoux

LEVANTAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE PLANTA DE POLIESTIRENO PARA CINTAC S.A.I.C

El presente texto relata la propuesta de proyecto de levantamiento y optimización de la planta de poliestireno para Cintac S.A.I.C, empresa dedicada a la fabricación y comercialización de sistemas constructivos e insumos para la construcción. El proyecto se desarrolla específicamente en su filial Instapanel en camino a Lonquén, planta destinada a la fabricación de planchas metálicas y paneles aislantes.

La razón de ser de este proyecto obedece a diversos motivos: la necesidad de crear estándares en los procesos de la planta, encontrar propuestas que prevengan dificultades que se presentan en tiempos de alta demanda como lo es la falta de capacidad de almacenamiento o desorden por acumulación de material, evaluar el funcionamiento actual de la planta y encontrar oportunidades de mejora en sus procesos, así como potenciales oportunidades de mejoras a la producción y calidad en el producto.

Para ello, se inserta dentro de la organización en un rol de asistente de ingeniero de excelencia operacional; con un proyecto cuya metodología consiste en el levantamiento de los procesos de la planta, complementado con el desarrollo de un marco teórico y reuniones semanales a modo de presentar avances y fijar nuevas directrices.

Como resultados se obtendrá los procesos de planta junto a propuestas de mejora, así como un análisis crítico del proceso actual, buscando determinar y contrastar con las condiciones ideales para el proceso.

Tabla de contenido

1-	Antecedentes.....	1
1.1-	Industria	1
1.2	- Cintac Lonquén	2
2-	Problema actual	3
3-	Propuesta de proyecto	5
4-	Objetivos generales y específicos.....	6
	Objetivo general.....	6
	Objetivos específicos	6
5-	Alcances.....	7
6-	Marco conceptual.....	8
6.1	- Poliestireno expandido (EPS)	8
6.2	- Pre-expansión	8
6.3	- Moldeo	9
6.4	- Reciclado	10
7-	Metodología	11
7.1	- Efectuar levantamiento de procesos para bloquera, pre-expansora y caldera junto a sugerencias de mejora y capacidades de producción.....	11
7.2	- Realizar mapeo general de la planta de Pol, con sus dimensiones, componentes y capacidad de almacenamiento de bloques.....	12
7.3	- Reciclaje.....	12
7.4	- Propuesta de parámetros optimizados de pre-expansora	13
8-	Desarrollo y resultados	14
8.1	- Efectuar levantamiento de procesos para bloquera, pre-expansora y caldera junto a sugerencias de mejora y capacidades de producción.	14
8.2	- Realizar mapeo general de la planta de Pol, con sus dimensiones, componentes y capacidad de almacenamiento de bloques.....	21
8.3	- Reciclaje	23
8.4	- Propuesta de parámetros optimizados de pre-expansora.....	24
9	- Discusiones	29

9.1 - Efectuar levantamiento de procesos para bloquera, pre-expansora y caldera junto a sugerencias de mejora y capacidades de producción.	29
9.2 - Realizar mapeo general de la planta de Pol, con sus dimensiones, componentes y capacidad de almacenamiento de bloques	31
9.3 - Determinación del impacto en calidad y propiedad con el uso de material reciclado, y apoyo en determinación del porcentaje de reciclado	32
9.4 - Propuesta de parámetros optimizados de pre-expansora.....	33
10 – Conclusión.....	34
10.1 – Objetivos del proyecto.....	34
10.2 - Conclusiones generales.....	35
10- Bibliografía	36
Anexos	38
Anexo A: BPMN.....	38
Anexo B: Actividades planta Pol	41
Anexo C: Detalle capacidades y propuesta	43
Anexo D: Gráficos caldera	45
Anexo E: Mapa general de la planta.....	46
Anexo F: Toma de muestras	48

1- Antecedentes

El rubro de la construcción es históricamente uno de los más significativos en la economía del país, representando para el año 2019 un 7,5% del PIB del nacional y un 8,9% de la fuerza laboral, siendo con ello el tercer sector productivo más relevante en cuanto a la participación en el empleo.¹

La actualidad presenta un escenario desfavorable para la industria, enfrentando una de las caídas en actividad más grandes desde 1990 — 26 meses desde enero 2022 hasta marzo del 2024 —, acompañado de pérdidas sostenidas de empleos, poder adquisitivo y facilidades para la adquisición de viviendas, y proyecciones desfavorables en la industria al corto y mediano plazo.²

1.1- Industria

Cintac se inserta en este sector productivo como uno de los grandes fabricantes de productos de acero para la construcción, concentrándose en dos áreas: construcción industrial y construcción habitacional; la primera abarcando productos de cubiertas industriales y aisladas, donde Instapanel — filial de Cintac — acapara un 36% y 39% de participación de mercado respectivamente para el año 2019; mientras que dentro de la construcción habitacional, Instapanel registra un 71% de participación de mercado en tejas metálicas y 7% para cubiertas metálicas.³

De acuerdo a Ferrer (2022), competidores dentro de la fabricación de productos de acero para la construcción y distribuidores de materiales de construcción incluyen “En el caso del mercado industrial, los principales competidores en estas familias de productos son: Metecno, Cubiertas Nacionales, Villalba, Polchile, Multipanel, Cubiertas del Sur, Paneles Arratia, Acertech, Aguilar Aceros e Imel, todos con presencia a lo largo de Chile a diferencia de algunos que tienen presencia sólo en regiones específicas del sur del país, tales como Arratia y Cubiertas del Sur. Con respecto al mercado habitacional, se reconocen como competidores a Sodimac, Villalba, Imperial, Imel, Multiacero, Prodalam, Edema e Inppa.” (p. 14).³

1.2 - Cintac Lonquén

El complejo industrial de Cintac Lonquén (Figura 1) cuenta con cuatro plantas: “Pintura”, “Pol”, “Planchaje” y “Frio”. Pintura y Pol dedicadas a la fabricación de insumos para el proceso: bobinas de acero pintadas colores estándar o definidos por el cliente en pintura, y productos de poliestireno para insulación en paneles aislantes en pol; por otro lado, Planchaje y Frio manufacturan los productos finales: Planchaje produce cubiertas habitacionales, placas y paneles sin aislamiento, mientras que Frio exclusivamente paneles con aislamiento (Poliestireno, Poliuretano, Poliisocianurato y Lana de roca) .

Son Pol y Frio las plantas relevantes para los alcances de este proyecto, el cual se desarrolla específicamente en la planta de Pol, encargada de la fabricación de bloques trapezoidales (Trapezios), bloques rectangulares (Bases) y planchas de distintos espesores de poliestireno expandido (EPS) desde “perla virgen” de poliestireno (gránulos de poliestireno sin expandir), para servir como insumos en la fabricación de paneles aislantes en la línea EPS-1, planta frio; planchas y trapezios se ocupan de relleno en los paneles debido a las propiedades mecánicas y aislantes del poliestireno expandido, mientras que las bases para soportar el producto final en el embalaje y para uso interno dentro la planta misma.



Figura 1: Vista aérea Cintac Lonquén, plantas y productos.

2- Problema actual

A grandes rasgos, el proceso de fabricación inicia desde la Pre-expansora, donde mediante la inyección de vapor generado por una caldera en la misma planta y parámetros establecidos de pre-expansión, lotes de perla virgen de poliestireno se expanden en decenas de veces su tamaño inicial ⁽⁴⁾ hasta una densidad aparente objetivo, siendo transportados por ventiladores hacia silos para su maduración; cumplido un tiempo de al menos 6 horas la perla pre-expandida está lista para ser utilizada en la máquina moldeadora de bloques, conocida como Bloquera, la cual mediante el inyectado de vapor conforma bloques de poliestireno expandido, necesitando estos al menos 6 días de reposo para su corte final, ya sea en las cortadoras, para la fabricación de planchas de distintos espesores, o al pantógrafo, para bloques rectangulares (Bases) y trapezoidales (Trapezios).

Cada bloque cortado, ya sea en las cortadoras o pantógrafo, genera merma debido a poliestireno remanente del corte, el cual es triturado en la recicladora y mezclado a cierto porcentaje con perla pre-expandida para ser reincorporado al proceso de fabricación de bloques en la mezcla utilizada por la bloquera (10% de material reciclado para planchas en las cortadoras, 50% para bases y trapezios en el pantógrafo). De esta forma, son 6 las máquinas en planta Pol: Caldera, Pre-expansora, Bloquera, Dimensionadora A y B (Cortadoras), y Pantógrafo (Figura 2).

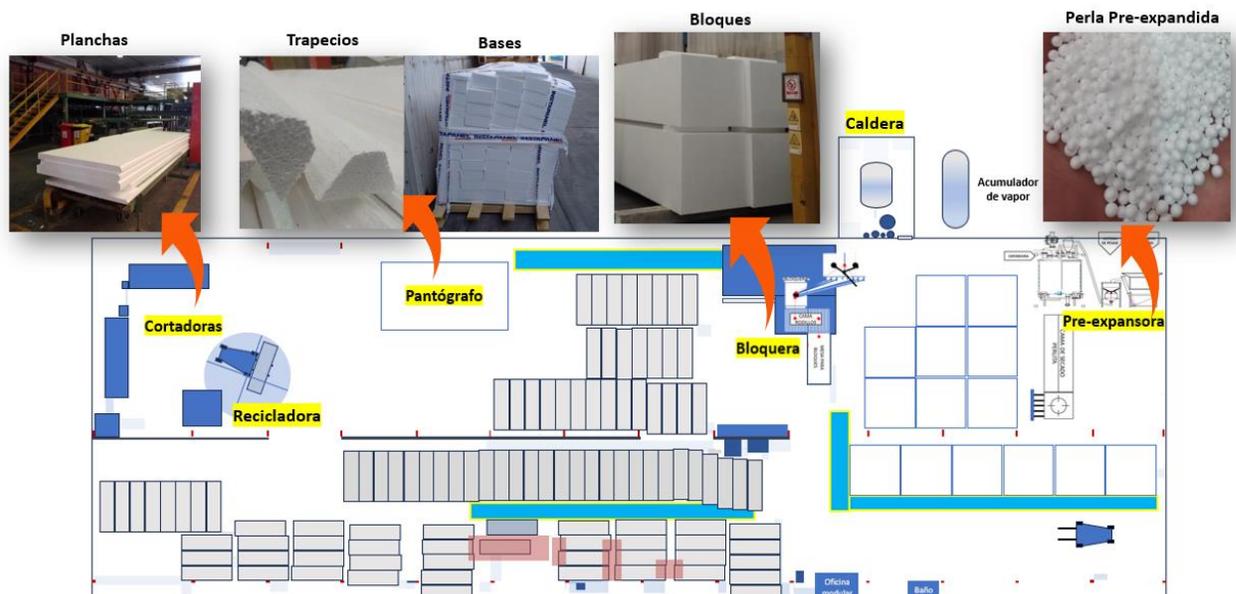


Figura 2: Planta de Pol, máquinas y productos. Elaboración propia.

Levantamientos iniciales dan cuenta de las dificultades que presentó la planta de Pol en regularizar su funcionamiento: bloques que no se consiguió la adherencia de la perla después de cambios en la materia prima, problemas de espacio que provocan en alta demanda un desorden general de la planta, y falta de levantamiento y optimización de los procesos existentes, lo que ha hecho que Pol sea una planta sujeta a frecuentes ajustes en marcha por parte de la operación.

Se presentan preliminarmente cajas negras y anomalías en el funcionamiento de la planta: no se tienen valores precisos para la capacidad de los silos de perla pre-expandida, capacidad de almacenamiento de bloques, ni de la producción diaria de la pre-expansora; en procesos controlados como lo es la pre-expansión no se logra obtener densidades consistentes lote a lote, con un amplio margen de variabilidad; el reciclado proveniente del corte aparentemente no cumple el ciclo esperado del reciclado, tiende a acumularse por sobre la capacidad de los silos a pesar de componer teóricamente un 10% y 50% del material de bloques, generando sobre procesamiento en el proceso dado que debe almacenarse antes de poder ser triturado una vez se tenga capacidad en los silos, ocupando un gran volumen y creando desorden general en la planta, y en ciertos casos pudiendo detener el corte de bloques en su totalidad en caso de no haber más capacidad para recibir reciclado; tampoco han sido investigadas nuevas oportunidades de mejora en los procesos o parámetros en la bloquera y pre-expansora más que por la misma operación.

¿Cuál es la relevancia de estandarizar y levantar datos faltantes?, las condiciones actuales no permiten tener una programación robusta al mediano plazo, requiriendo ajustes de programación en marcha y el uso de horas extra en caso de ser necesario para suplir la demanda de planchas requerida; por otro lado, queda a disposición de los operadores resolver y tomar decisiones en base a su experiencia, sujetos a las condiciones y problemas mismos de la planta que van más allá de la operación. La falta de información y estándares dificulta hacer gestión sobre la planta en base a datos, apoyándose en su lugar al ajuste en marcha de parte de los operadores y decisiones del supervisor.

3- Propuesta de proyecto

El proyecto consiste tanto en un levantamiento de los procesos actuales de la planta, como de los aspectos operativos tales como la capacidad de almacenamiento de bloques y perla pre-expandida, producción y parámetros relevantes para la pre-expansora, bloquera y caldera, entendiendo que estas tres máquinas abarcan proceso de fabricación de bloques en su totalidad y se encuentran interrelacionadas entre sí. Más explícitamente, tanto la bloquera como pre-expansora se alimentan del vapor generado por la misma caldera, y funcionan, a distintos ritmos, en paralelo, requiriendo en ambos casos mantener una presión de vapor determinada para el proceso, por lo que se necesita cierto balance entre ambos procesos. Por otro lado, el resultado de la pre-expansión tiene directa implicancia con la bloquera, siendo que es la perla pre-expandida precisamente la materia prima para el moldeo de bloques, cualquier defecto en este paso puede reflejarse dentro de la bloquera, así como también la capacidad de procesamiento puede directamente limitar la cantidad de bloques moldeables por día, por lo que es relevante definir no solo el comportamiento de cada máquina por si sola, sino que llegar a una comprensión completa del proceso que abarque una mirada integral.

Este ejercicio tiene como objetivo detectar mejoras al proceso, definir parámetros estandarizados para la pre-expansora (que permitan reducir la variabilidad de densidades obtenidas lote a lote), oportunidades mejor uso de espacios que permitan incrementar la capacidad de almacenamiento de la planta, y evaluar críticamente los procedimientos actuales de la planta.

En otros aspectos, se propone determinar el porcentaje de reciclado de los bloques, entendiendo cuales serían las causas de la discordancia entre el ciclo de reciclaje teórico y la realidad operacional de la planta.

Se pretende de esta manera, a grandes rasgos mejorar la capacidad operativa de la planta de Pol, con un foco a determinar los factores que permitan una mejora en la producción en la bloquera.

4- Objetivos generales y específicos

Objetivo general

- a) Optimización de la capacidad operativa de la planta de Pol, identificando factores críticos para el mejoramiento del proceso productivo del moldeo de bloques.

Objetivos específicos

- a) Propuesta de parámetros optimizados de pre-expansora.
- b) Efectuar levantamiento de procesos para bloquera, pre-expansora y caldera junto a sugerencias de mejora y capacidades de producción.
- c) Determinar el impacto en calidad y propiedades con el uso de material reciclado, y apoyo en medición del porcentaje de reciclado.
- d) Realizar mapeo general de la planta de Pol, con sus dimensiones, componentes y capacidad de almacenamiento de bloques.

5- Alcances

De los objetivos específicos propuestos, solo los dos últimos respecto al reciclado y capacidad de almacenamiento de bloques forman parte de los planes de acción de la empresa, esto implica que todas las propuestas en cuanto a parámetros y rediseños en el flujo quedan a decisión de la empresa implementar o no, por lo que el proyecto no abarca la aplicación de estas. Se pretende a su vez como objetivo final del proyecto que las propuestas en cuanto al flujo sean alternativas para incrementar en cierta medida la capacidad de producción de bloques.

Preliminarmente se reporta desde la operación posibles defectos mecánicos en la maquinaria, lo que podría impedir una posible implementación de propuestas en cuanto al uso de parámetros y estabilización de la densidad en la pre-expansión; a pesar de ello, se espera la comprensión de las variables que afectan en las fluctuaciones de densidad para reducir el error actual en la medida de lo posible, y entender cuáles son los factores que impiden llegar al ideal.

Por último, aún con lo que es posible recabar por literatura y expertos en terreno para fundamentar afirmaciones del presente proyecto, existen asuntos que pueden ir más allá de las competencias, como lo es evaluar propuestas que puedan implicar cierto cambio de comportamiento respecto al uso de vapor o funcionamiento de la caldera, estos casos requerirán análisis adicionales a los propuestos por expertos en la materia.

6- Marco conceptual

Se detalla a continuación el marco conceptual recabado a modo de comprender las propiedades y proceso del poliestireno expandido.

6.1 - Poliestireno expandido (EPS)

El poliestireno expandido es un plástico rígido formado por pequeñas células con aire en su interior, siendo un material compuesto de aproximadamente 98% aire y 2% plástico ⁽⁴⁾, sus propiedades particulares son una baja conductividad térmica, alta resistencia compresiva y peso ligero, volviéndolo un material idóneo para su uso como aislante en construcción. ⁽⁵⁾

6.2 - Pre-expansión

Una máquina pre-expansora introduce vapor caliente en un recipiente con perla virgen (Sin expandir), las cuales están compuestas de pequeñas células con pentano como agente de expansión; el resultado es un incremento progresivo de la presión dentro de la perla dada la evaporación del pentano, llevando a un aumento de volumen de las células; el proceso parte desde una temperatura de ablandamiento del plástico cercana a los 80°C, hasta una temperatura de pre-expansión de (100C° - 105C°) ⁽⁶⁾, donde la perla virgen se expande hasta un 40% de su volumen original. ⁽⁵⁾

La densidad aparente obtenida en la pre-expansión es fundamental (masa respecto al volumen total, incluyendo espacios vacíos), pues tiene directa relación con la densidad final del bloque después del moldeo⁽⁷⁾, afectado a su vez por deformaciones físicas debido al transporte y almacenamiento de la perla, que pueden causar un aumento en torno a los 2g/cm³ de densidad en el bloque final respecto a la densidad inicial de la perla pre-expandida; esta variable tiene especial relevancia, pues es la densidad el principal determinante de las propiedades térmicas y mecánicas de los productos de EPS ⁽⁸⁾, ; por otro lado, es preferible una mezcla de baja variación de densidad en la perla, pues distinta densidad en zonas a lo largo del bloque pueden crear variaciones en las propiedades térmicas y mecánicas. ⁽⁷⁾

Mediante la fijación de parámetros se controla la densidad aparente obtenida y su variación, siendo los 3 parámetros fundamentales temperatura, tiempo de pre-expansión y cantidad de perla virgen ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾, sujetos a tener a su vez una fuente estable y constante de vapor. ⁽⁷⁾

Una vez expandida, la perla debe tener reposo previo al moldeo, pues necesita tiempo para reducir su contenido de humedad y equilibrar su presión interna, proceso donde además se pierde progresivamente el contenido de pentano dentro de la perla. ⁽¹¹⁾

6.3 – Moldeo

Durante el moldeo, el material pre-expandido aumenta nuevamente en volumen mediante el uso de vapor a presión, está vez en un espacio limitado por el molde, provocando que el incremento de volumen sea en los espacios vacíos entre las mismas perlas y causando fusión de las superficies en contacto. ⁽⁷⁾

En este paso se vuelve fundamental el tiempo de reposo de la perla pre-expandida, tiempos de reposo muy largos incrementan la pérdida de pentano, con lo que la expansión de la perla dentro del molde se ve comprometida, afectando la dureza y resistencia a la flexión del material; mientras que tiempos de reposo cortos pueden causar efectos análogos debido al mayor contenido de humedad y falta de estabilización de la presión interna. ⁽¹²⁾

6.4 - Reciclado

El material reciclado se caracteriza por ser mecánicamente triturado, por lo que a diferencia de la perla pre-expandida, el reciclado no tiene una forma esférica, sino que perlas de forma irregular, lo que provoca un peor ordenamiento espacial y con ello una menor densidad aparente respecto a su densidad original previo al moldeo; su menor contenido de pentano le entrega una menor capacidad de expansión durante el moldeo, con lo que depende de la perla pre-expandida para poder fusionar sus superficies. ⁽¹³⁾

Su uso a nivel industrial llega a porcentajes de hasta un 15% para bloques de EPS, y 5% para moldes personalizados, obedeciendo principalmente a la poca cantidad de estudios al respecto. ⁽¹⁴⁾

La introducción de material reciclado, debido a su menor densidad, produce una ligera reducción en la densidad del bloque del orden, teóricamente lineal, del orden del 2% por cada 10% de fracción total de reciclado ⁽¹⁴⁾, sin embargo, dado el poco porcentaje que se suele usar, no suele representar un cambio significativo en la densidad.

La literatura muestra que el uso de reciclado no altera significativamente las propiedades mecánicas ni térmicas del producto ⁽¹⁴⁾ salvo en cuanto a su capacidad de resistir a la flexión ⁽¹³⁾, donde estudios han encontrado que la introducción del 10% al 20% de reciclado provocan una resistencia a la flexión de aproximadamente 70% a la original. ⁽¹³⁾

7- Metodología

El proyecto se lleva a cabo mediante reuniones de avance semanales donde se presentan datos y conclusiones levantadas, recibiendo feedback a corregir y fijando nuevos focos de investigación; no se tiene directamente una metodología completa del proyecto sugerida, sino que es definida en el camino y de acuerdo con la retroalimentación recibida.

Esto tiene la ventaja de permitir analizar el problema en base a los intereses particulares del equipo, como de ser abierto a nuevas perspectivas respecto al funcionamiento de la planta. De esta forma, se detalla a continuación la metodología aplicada para cada uno de los objetivos:

7.1 - Efectuar levantamiento de procesos para bloquera, pre-expansora y caldera junto a sugerencias de mejora y capacidades de producción

Se propone el levantamiento de los procesos de la planta desde la puesta en marcha para la pre-expansora, bloquera y caldera, recopilando la información mediante observación directa en planta y dialogo con los operadores, y creando un diagrama BPMN que resuma la información.

En una segunda iteración se incorpora medir los tiempos de cada proceso y una simbología que permita entender a mayor detalle la naturaleza del proceso junto a su estándar, buscando con ello generar un documento auto explicativo donde se logre visualizar la operación de la planta.

Anexo a esta definición, se crea un documento Excel a modo de estudiar, basado en los datos y parámetros recopilados en planta, las producciones de ambas máquinas, y entregar una estimación más robusta de la capacidad de producción.

En una tercera iteración, desde la misma información del BPMN se crea un documento Excel listando cada actividad de las máquinas en las filas, y las columnas representando el tiempo, de tal manera de visualizar fácilmente el avance del proceso en su aspecto temporal, junto a las interacciones entre cada una de las máquinas.

Se investiga a su vez los manuales de cada una de las máquinas, a modo de contrastar el funcionamiento actual de la planta con el ideal, y con ello poder definir propuestas de mejora al proceso.

7.2 - Realizar mapeo general de la planta de Pol, con sus dimensiones, componentes y capacidad de almacenamiento de bloques

El mapa general de la planta en su primera iteración considera el mapeo a escala de la planta con cada uno de sus espacios mediante el uso de una cinta métrica, a modo de determinar y definir la capacidad total de almacenamiento de bloques, como también el inventario actual de cada tipo de bloque (10% de reciclado, 50% de reciclado y bloques mermados). Precitado lo anterior, y desde el mismo mapa creado, se estudian alternativas de uso de espacios y propuestas para poder conseguir mayor espacio de almacenamiento.

En iteraciones posteriores se extiende la tarea a no solo considerar los espacios con fines de capacidad de almacenamiento, sino también entrar en mayor detalle a los espacios de la planta por fuera del galpón principal, cubriendo espacios de la caldera y máquinas al exterior de la planta como el acumulador de vapor y enfriador.

7.3 – Reciclaje

Se busca estimar el porcentaje de reciclado de los bloques mediante información levantada desde los operadores respecto al comportamiento de los silos, complementado con el marco teórico recabado respecto a las propiedades del reciclado.

Posteriormente se implementa por decisión de jefaturas el pesado antes y después del corte, a modo de determinar de forma precisa los kilos de merma generados por el corte, en ello se cumple el rol de apoyar con la creación de una planilla Excel, llevar el ingreso diario de los registros y consultar con los operadores cualquier discrepancia o datos anormales.

En fases posteriores se toma la decisión por parte de la empresa de medir directamente cuantos kilos de material reciclado y perla pre-expandida entran al mezclador en un tiempo determinado, con ello pudiendo determinar de forma exacta el porcentaje de reciclado de la mezcla, en esto se cumple la función de asistir en el proceso, colaborando en la tarea y entregando sugerencias en base a lo antes recopilado.

Finalmente, frente a la decisión final de aumentar el porcentaje de reciclado de los bloques, se recurre al marco teórico levantado para dar apoyo en las posibles implicancias del uso de material reciclado en las propiedades térmicas y mecánicas de los productos, como en cuanto a posibles problemas que pueda causar en su formado en la bloquera.

7.4 - Propuesta de parámetros optimizados de pre-expansora

Una investigación inicial considera revisión de material académico disponible en la web, a modo de entender preliminarmente cuales son los parámetros y factores que influyen en la pre-expansión, complementando a ello el levantamiento de cómo los operadores modifican los parámetros para estabilizar la densidad de la perla pre-expandida, y como, de acuerdo con el manual de la máquina, es posible controlar la densidad de expansión.

Se vuelve necesario a su vez investigar cuál sería el funcionamiento normal de la máquina de acuerdo con el manual, y verificar que efectivamente los componentes mecánicos estén en funcionamiento y cumplan su función.

Dado que ambas máquinas funcionan del vapor alimentado por una misma caldera, es importante incluir en el levantamiento la relación entre la generación de vapor en la caldera, el rol intermediario del acumulador de vapor, y su consumo final en la pre-expansora y bloquera, con las posibles consecuencias debido a variaciones en la presión de vapor de la caldera dado ambos procesos funcionando en paralelo.

Una vez encontrados los factores relevantes para la pre-expansión, se realizan tomas de muestra de densidad en cada lote por un tiempo mínimo de media hora, considerando cuales son los parámetros de la máquina, las lecturas de los manómetros y la densidad aparente obtenida, buscando con ello crear una base de datos que permita estudiar la relación estadística entre variables, y en una segunda iteración, crear un modelo de regresión que permita entender y cuantificar la magnitud de cada variable en la densidad obtenida.

Con toda la información levantada, se pretende entregar una propuesta de cambio de parámetros optimizados para la pre-expansión.

8- Desarrollo y resultados

Se describe a continuación avances y resultados para cada uno de los objetivos.

8.1 - Efectuar levantamiento de procesos para bloquera, pre-expansora y caldera junto a sugerencias de mejora y capacidades de producción.

Con la información recopilada, se crea un diagrama BPMN del proceso (Anexo A: BPMN) y un documento Excel que detalla visualmente el avance temporal de las actividades (Anexo B: Actividades planta Pol). A grandes rasgos el proceso para cada máquina es el siguiente, considerando un proceso de dos operadores (Pre-expansora y Bloquera/Caldera):

- 1- Ambos operadores cumplen tareas para el encendido de la caldera, el operador de la bloquera abre las válvulas y realiza la purga de agua, el de la pre-expansora cambia las sales para el tratamiento de agua.
- 2- Completada la puesta en inicio de la caldera, cada operador pasa a las tareas específicas de su máquina, y el operador de la bloquera queda a cargo del resto de actividades de la caldera.

Para el operador de la bloquera:

- 1- Enciende las máquinas necesarias para el funcionamiento de la bloquera: mixer, enfriador y compresor de aire; así como configura la alimentación de los silos.
- 2- Debe esperar al apagado del quemador de la caldera una vez llegado al máximo de 0,72Mpa para abrir la válvula que conecta la caldera hacia el acumulador de vapor.
- 3- Prueba los sistemas hidráulicos de la bloquera y abre la válvula que conecta el acumulador de vapor hacia la bloquera.
- 4- Nuevamente espera el apagado del quemador de la caldera a los 0,72Mpa para iniciar el procedimiento de precalentamiento definido: 4 veces en sucesión el mismo ciclo de calor 1 (14,5 s) , calor 2 (7,5 s) enfriamiento (270 s) y drenaje (12 s).

Terminado lo anterior, y vuelto a la presión máxima de 0,72Mpa, se empieza la fabricación de bloques, reajustando parámetros e iniciando siempre con los mismos parámetros iniciales definidos (calor 1 17,8 s; calor 2 9,4 s, enfriamiento 410 s).

El tiempo de enfriamiento, el cual es el mayor componente del tiempo total de ciclo, puede reducirse, pero siempre sujeto a que el quemador se apague (llegado a su presión máxima de 0,72Mpa) antes de la inyección de vapor hacia el bloque; de acuerdo al manual presiones inferiores a 0,6Mpa son insuficientes para la bloquera, arriesgando que el bloque se desgrane, mientras que iniciar con presiones cercanas pero inferiores a 0,72Mpa pueden causar el apagado de la caldera debido a la configuración y parámetros definidos, particularmente el llenado de agua toma más tiempo de lo usual, detonando una alarma de seguridad.

El operador reduce o aumenta los segundos de vapor ligeramente dependiendo del aspecto del bloque, si está muy apretado al molde al momento de la expulsión, o duro al tacto, se reducen los segundos de vapor, si se ven esquinas menos formadas se incrementa; en ambos casos es un ajuste del orden de 0,3(s).

Propuesta bloquera: Calentamiento inicial

Se observa directamente una diferencia entre el procedimiento de precalentamiento de la bloquera creado por la operación y el propuesto por el manual de la máquina; cabe señalar que el procedimiento actual fue definido en base a la experiencia de los operadores sin haber contado con el manual de antemano, este fue definido como cuatro ciclos en sucesión de calentamiento 14,5 segundos, enfriamiento 270 segundos y drenaje 12 segundos, pues esta cantidad de ciclos asegura no tener material desgranado en los primeros bloques; los segundos de enfriamiento se añaden, de acuerdo al operador, pues de lo contrario no se logra abrir la puerta del molde.

El manual propone inyectar vapor, esperar, una vez que la temperatura del molde logre los 90°C aplicar vapor nuevamente y esperar 10 minutos; abrir la puerta una vez alcanzados los 40°C – 50°C y aplicar agua con jabón a las placas; un punto relevante se desprende de que teóricamente podría ser adecuado un menor uso de vapor respecto al procedimiento actual, si bien lo propuesto por el manual no representa una reducción en cuanto a tiempo, el precalentamiento de la bloquera y la pre-expansora se realiza linealmente una después de la otra precisamente por el gran requerimiento de vapor en el precalentado de la bloquera, por lo que adoptar el procedimiento del manual potencialmente podría permitir dar un inicio en paralelo, incrementando en 18-30min el tiempo de producción en la pre-expansora.

Para el operador de la pre-expansora:

- 1- Se drena y llena el estanque de la hidro bomba, se abren válvulas de aire comprimido hacia la pre-expansora y se limpia la cama de lecho fluido (donde se seca el material pre-expandido en cada ciclo y pasa hacia los silos).
- 2- Se cambia la saca de perla en caso de ser necesario.
- 3- Se espera la señal del operador de la bloquera para dar inicio a la pre-expansora, su procedimiento de precalentamiento consiste en tres ciclos sin carga y alto tiempo de calentamiento (45s, 35s, 30s), un cuarto ciclo de 30s de calentamiento y 12kg de carga inicial, y un tiempo de secado del material pre-expandido pues en la primera carga hay gran cantidad de humedad; con esto se obtienen las condiciones necesarias para pre-expandir, alcanzada una temperatura cercana a los 100c° en la cámara.
- 4- Un quinto ciclo se sube la carga hasta 18kg, y se mantiene hasta lograr un buen flujo en la cama de lecho fluido, de lo contrario puede saturarse de material.
- 5- Alcanzándose la condición de flujo de lecho fluido, se inicia la operación regular.

El operador toma muestras de densidad cada 15 minutos con un recipiente de 1L, el ideal se establece como 15,5 g/cm³, dependiendo si la muestra está por encima o debajo de este valor, se sube o baja los segundos de calentamiento del orden de 0,5 segundos; se sube si la densidad esta sobre el ideal, y se baja en caso contrario.

Propuesta pre-expansora: Toma de densidad

Se detecta que dado el volumen del recipiente (1 L), este es muy sensible a pequeños cambios, de tal forma que variaciones poco perceptibles a simple vista pueden causar cambios del orden de 0,4 – 0,7 g/cm³ en la densidad aparente medida; se propone adoptar como mejor practica la toma de densidad basada en una ficha técnica de máquina pre-expansora, que considera tomar la muestra (rebalsada) y después remover el exceso con un raspador, de esta forma estandarizando la muestra ⁽¹⁵⁾; alternativamente, el uso de un recipiente de mayor volumen vuelve el muestreo menos sensible a cambios en la cantidad de muestra, un BPMN de este proceso puede encontrarse en Anexo C, figura 1.

Propuesta pre-expansora: Calentamiento inicial

Un segundo proceso propuesto consiste en reemplazar la metodología actual de precalentamiento, de hacer ciclos sin material subiendo el tiempo del parámetro de calentado, por el uso de acuerdo con el manual del parámetro de “pre-calentamiento”, el cual tiene la función particular de estar diseñado para calentar el cilindro en sí más que el material a pre-expandir, evitando de esta forma fases del proceso que disipan calor interno obtenido del calentamiento, como lo es la descarga, y mayor holgura para configurar el parámetro de pre-calentamiento, pues este tiene a su vez parámetros configurables como el ratio de apertura.

La factibilidad del uso de este parámetro debe estimarse en la prueba, pues en la metodología actual, el hecho de hacer ciclos sucesivos de mayor calentamiento, y no directamente calentar en un solo ciclo por un tiempo mucho mayor obedece a pruebas pasadas, donde se obtuvo que muchos segundos de calentamiento causan condensación en la tolva de carga y problemas con los sensores, de no ocurrir esto con el uso de precalentado, podría potencialmente usar menos vapor para la puesta en marcha, o ser configurado para que el uso de vapor permita el precalentamiento de la bloquera y pre-expansora en paralelo.

Un BPMN de la propuesta puede consultarse en Anexo C, figura 2.

Capacidades

Para calcular capacidad se recopila datos del tiempo de ciclo de la bloquera en distintos momentos del día dado el ajuste de parámetros por parte del operador, junto a las horas de producción a lo largo del día, considerando continuidad durante hora de almuerzo (es decir, el operador de la pre-expansora reemplaza al de la bloquera durante hora de almuerzo); al respecto se destaca que a medida que avanza el día, el tiempo de ciclo tiende a acortarse debido a la reducción en el tiempo de enfriamiento, el cual puede bajar siempre y cuando se pueda cumplir la condición de 0,72 Mpa antes de cada bloque. Mayor detalle del documento realizado puede encontrar en anexo C, figura 3.

Las condiciones en los primeros meses del año permiten reducir el tiempo de ciclo a medida que avanza el día, mientras que en invierno se suele mantener fijo, se obtiene de esta manera, para una jornada laboral regular, un máximo teórico de 42 bloques en el primer caso, y 40 para el segundo; no hay grandes diferencias pues en el primer caso las reducciones de tiempo son graduales y del orden de 30-40s. Si las condiciones de la caldera permitieran desde un inicio operar a un tiempo de ciclo bajo (569 s), se podría esperar un máximo de 47 bloques diarios, es decir un 11,9% - 17,5% de incremento en producción. En particular, de asumirse un tiempo de ciclo único y constante a lo largo del

día, y tiempos de ciclo que abarcan desde los parámetros iniciales (673,9 s) hasta el mínimo posible por la operación (cerca de 500 s, que debe destacarse que no es una condición sostenible para el enfriador, y requiere tener solo la bloquera sin pre-expansora en funcionamiento), se obtiene el siguiente grafico (Figura 3):

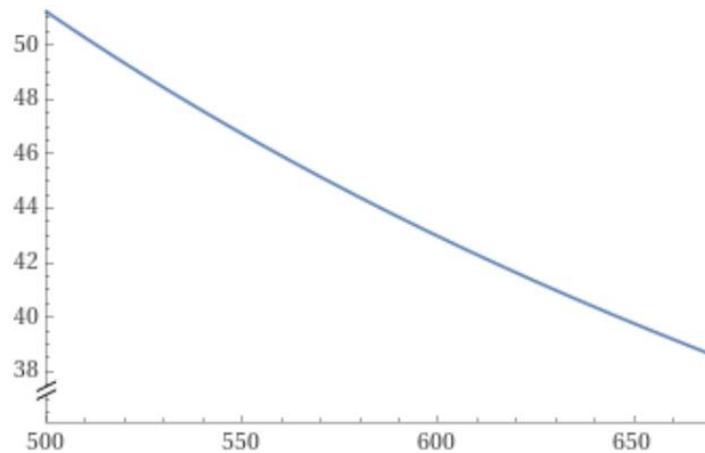


Figura 3: Tiempo de ciclo (s) versus producción (bloques) en un caso constante

Para la pre-expansora se hace el mismo ejercicio considerando un tiempo de ciclo de 103 (s) y una carga de 22kg, se considera continuidad en la bloquera para hora de almuerzo, y la máquina apagada durante el almuerzo respectivo para el operador de la pre-expansora. Se toma el supuesto que 82,5kg son necesarios para formar un bloque (promedio de peso de un bloque seco). Bajo estos supuestos se grafica la producción en bloques dado los kilos de carga, bajo un ciclo constante (103 s) y producción dado carga constante de 22kg y tiempo de ciclo variable (Figura 4).

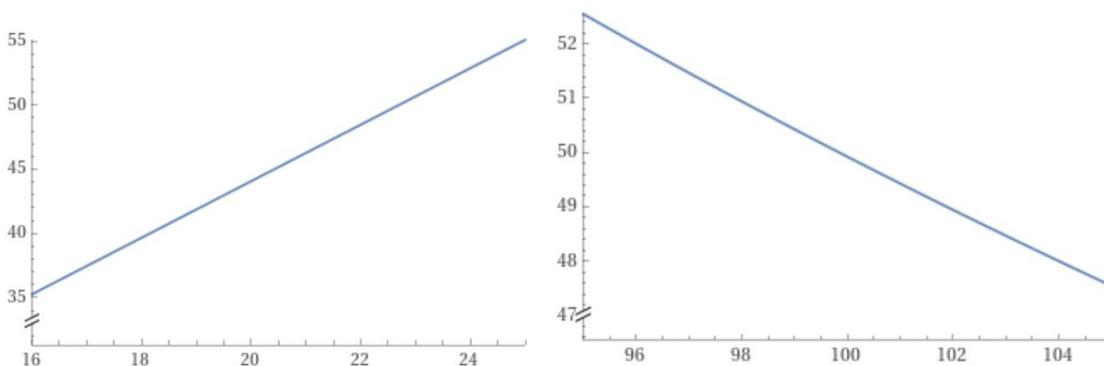


Figura 4: en la izquierda, perla pre-expandida (en bloques) versus carga por ciclo (kg), a la derecha, perla pre-expandida (en bloques) versus tiempo de ciclo (s)

Puede observarse que, aproximadamente, cada 2seg de reducción de tiempo de ciclo se obtiene un incremento de 1 bloque extra diarios, mientras que, en el caso de la carga, cada 2kg de carga representa un aumento de 5 bloques extra diarios.

Es relevante destacar que los cálculos en la pre-expansión no conversan con la realidad operacional de la planta aun habiendo obtenido magnitudes casi idénticas a los levantamientos ya existentes. Se considera de acuerdo a levantamientos previos a la pre-expansión como un cuello de botella en cuanto a poder fabricar más bloques, y sin embargo, dado los parámetros actuales la producción debería ser mayor a la capacidad de la bloquera de fabricar bloques, dado que el tiempo de ciclo es directamente verificable y validable, se da como hipótesis que la carga por ciclo podría ser menor a la esperada, cercano a los 16-18kg; indicios de ello son observables desde la operación: una saca de 750kg debería ser consumido en alrededor de 1 hora, mientras que en la realidad se reporta por la operación tiempos cercanos a 1 hora 20 minutos, lo que considerando un tiempo de ciclo de 103 segundos arroja una carga de 16kg por ciclo.

Caldera

Las actividades de la caldera son ya cubiertas en las actividades del operador de la bloquera, en este caso se da énfasis en investigar el comportamiento de la caldera, registrando cada 30 segundos los distintos datos que toma el panel durante la operación:

- Presión (Mpa)
- Estado del quemador (Gris apagado, Blanco purgando, Naranja encendido, naranja claro fuego bajo)
- Nivel de agua (H, L, EL)
- Temperatura de los gases dentro de la caldera (C°)

Se tabula a modo de entregar una visión de cuál es el comportamiento de la presión y caldera en el tiempo (Puede consultarse a mayor detalle en Anexo D: gráficos caldera) se valida también que el comportamiento de la presión en el acumulador de presión es muy similar (sino idéntico) al registrado en la caldera salvo en los momentos donde se ocupa vapor por alguna de las máquinas.

Se observa que el ciclo de la bloquera coincide con el ciclo que realiza el quemador (inicia con Purga, fuego alto, fuego bajo y termina en apagado al llegar a los 0,72Mpa) dado que el nivel de agua es insuficiente para mantener la llama activa posterior a la inyección de un bloque; por otro lado, que esté una o ambas máquinas funcionando afecta significativamente como distribuye la presión.

Propuestas caldera: ciclo inicial

Durante el ciclo inicial de encendido se considera la limitante de esperar a los 0,72 Mpa para continuar con las actividades, tanto para abrir la válvula de la caldera hacia el acumulador de vapor, como para iniciar el procedimiento de precalentamiento en la bloquera, aquel estándar se considera no óptimo puesto que una caldera idealmente debiese operar de forma continua, dado que en cada apagado se incurren en pérdidas fijas debido a purgas; en el caso inicial, una vez se abre la válvula hacia el acumulador de vapor la presión en la caldera desciende por la transferencia de vapor, el quemador se mantiene apagado hasta llegar a la presión configurada de 0,62 Mpa, y una vez llegue a tal presión, debe pasar por una purga de 1 minuto antes de poder encender la llama nuevamente, con lo que la presión sigue descendiendo todo ese periodo. Se propone eliminar la condición de los 0,72 Mpa considerando en su lugar una presión cercana a los 0,65-0,67 Mpa, de tal forma que se mantenga la llama alta y no se apague el quemador; los beneficios deben ser medidos en la práctica, pero se estima en base a los datos recopilados una ganancia en torno a los 6 minutos tanto para la pre-expansora como bloquera.

Propuestas caldera: Evaluar modulación de nivel de agua

Se observa que, bajo la configuración del nivel de agua actual, con ambas máquinas funcionando solo se recarga el nivel de agua después de la inyección de vapor hacia un bloque, considerando que en paralelo hay consumo tanto por el proceso de pre-expansión como por el ventilador de la cama de lecho fluido, el nivel de agua va en alto (H) y suele estar en bajo (L) previo a la inyección de un bloque. La recuperación del nivel de agua es relativamente extensa; posterior a la inyección de un bloque, el quemador realiza una purga, pero no enciende dado que el nivel de agua es insuficiente, por lo que se realiza una segunda purga, tomando alrededor de 2,5 min el encendido en cada ciclo, y representando un 21,7% del tiempo total.

Esto difiere de estar solo la bloquera sin la pre-expansora, en tal caso el consumo de vapor es menor, con lo que basta con solamente una purga (1 min) para encender el quemador dado el mayor nivel de agua, representando tan solo un 13% del tiempo total del ciclo. Dado esta comparativa, el beneficio de modular el nivel de agua de tal forma que recupere el agua consumida por la pre-expansión antes de consumir en la bloquera se traduce en ganancias de hasta 1,5 min extras de generación de vapor en cada bloque fabricado, lo que permitiría las condiciones para reducir significativamente el tiempo de ciclo en la bloquera; asumiendo que la ganancia en disponibilidad del quemador se refleja directamente en menor tiempo de ciclo, se estima una ganancia de hasta 4 bloques extra de producción diarios.

8.2 - Realizar mapeo general de la planta de Pol, con sus dimensiones, componentes y capacidad de almacenamiento de bloques

Un primer levantamiento se realiza a modo de mostrar los espacios en la planta y tener una idea general de cuanto es su capacidad en base a información levantada con los operadores; se evidencia un problema de sobre stock de bloques de 50% de reciclado para bases y trapecios causado por la necesidad de consumir rápidamente material de reciclaje de los silos y así no interrumpir el corte de bloques; se explicita en el diagrama mediante colores (Figura 5) mostrando que casi la mitad del stock de la planta (48%) está ocupado por bloques de base/trapezio, siendo su consumo muy inferior a bloques de 10% de reciclado usado para fabricar planchas.

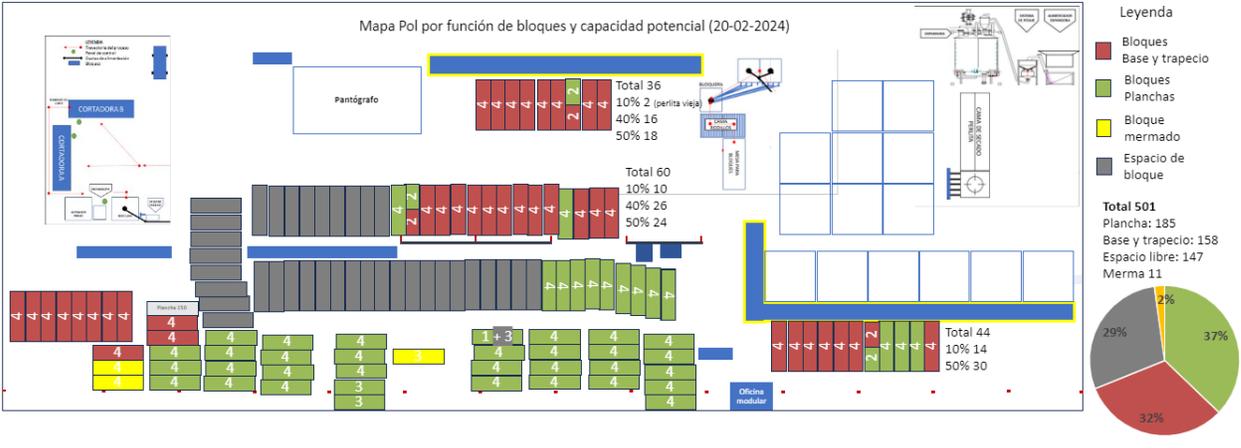


Figura 5: Mapa de Pol por función de bloques, y capacidad potencial (20-02-2024)

El motivo de porque se define como un sobre stock encuentra su justificación en base a análisis de producción en la planta de frio (Véase Anexo E, figura 1) considerando los metros totales y producto se estima la cantidad de planchas y trapecios usados, y con ello la cantidad de bloques necesarios para su fabricación, evidenciando que el consumo de bloques de 50% es muy inferior al de 10%, y que el stock actual puede suplir la producción de trapecios por meses, mientras que de planchas, no más que un par de días en meses de alta demanda.

En iteraciones del mapa (Véase Anexo E, figura 2 y 3) se dio foco a encontrar maneras de aumentar la capacidad de la planta, dando sugerencias y evidenciando detalles de la planta que impiden el uso de ciertos espacios como almacenamiento, en base a esto se toma la medida de mover una grúa horquilla almacenada al costado derecho y almacenar bloques en ese espacio, incrementando con ello la capacidad en 28 bloques; se considera además remover un tubo en desuso que obstruye en la altura, sin embargo no se llega a concretar dado cambios en el equipo de excelencia operacional.

En su versión más actualizada (Figura 6), la planta ya ha pasado por cambios, se ha removido material almacenado en la esquina inferior izquierda, y destinado el espacio inferior derecho a otros fines, por lo que es definida la nueva capacidad total de almacenamiento considerando los cambios, obteniendo un computo final de 451 bloques.

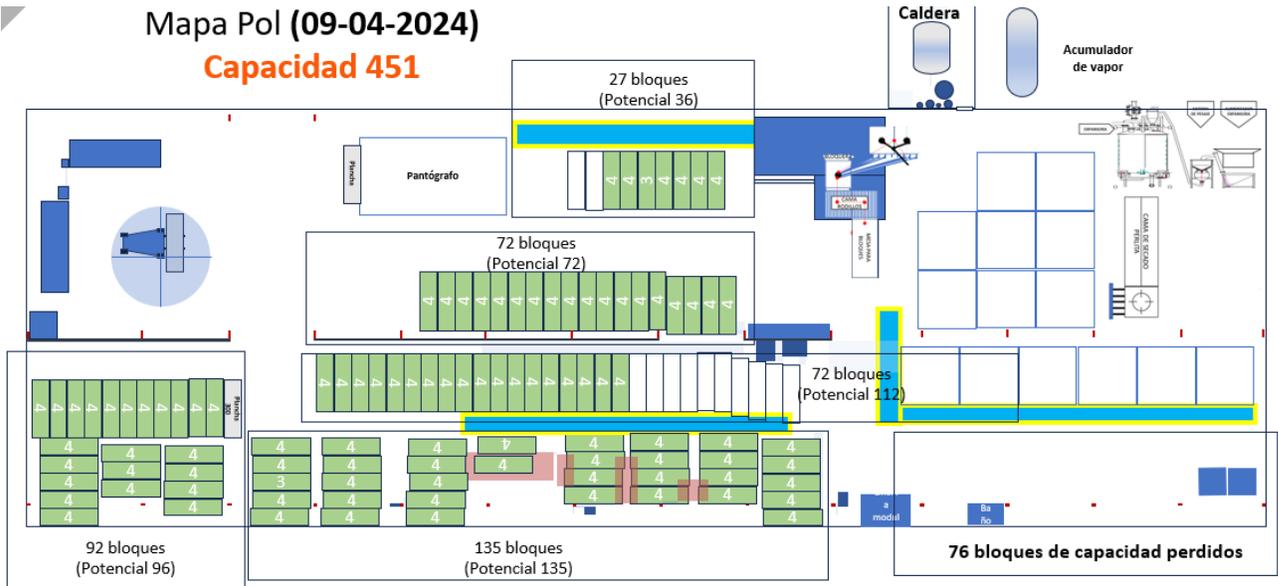


Figura 6: Mapa final de capacidad

8.3 – Reciclaje

Se estima mediante la información operacional que el porcentaje de reciclado es cercano al 3%, (2,54%) tomando como datos información de parte del operador, un bloque de 10% teórico de reciclado consume un silo completo de reciclado en 300 bloques, junto a que un silo completo son alrededor de 8 bloques, de esta forma se estima un numero considerando que la perla pre-expandida es un $(1-x)\%$ del material mientras que el reciclado un $x\%$, llegando al valor final de 2,54%, siendo un indicio de que el ciclo teórico del reciclado podría no estar cumpliéndose, pero un estimado de supuestos muy imprecisos como para concluir.

Por otro lado, una vez implementado en las cortadoras y pantógrafo el pesar bloques antes y después del corte, se obtiene que un bloque genera en promedio alrededor de 3kg de reciclado, con distintos valores entre bloque y bloque, mientras que el pantógrafo entrega aproximadamente 4kg de reciclado.

El contenido preciso de reciclado fue medido directamente por parte del equipo, tomando 10 segundos de muestra de solo reciclado y solo perla pre-expandida, pesando cuanto es el material en cada caso, de esta forma, se concluye que el bloque de teóricamente de 10% de reciclaje era en realidad un 3%, mientras que el de 50%, 10%, siendo la diferencia entre lo teórico y real explicado principalmente por un mal supuesto, pues la velocidad de ambos sinfines que proporcionan material no era proporcional una a la otra.

Finalmente, dado que el porcentaje real era muy inferior al pensado, se investiga sobre la posibilidad de ocupar bloques del 10% para su uso en planchas, para lo cual se entrega la información recabada en el marco teórico, mostrando que internacionalmente se considera seguro el uso de hasta un 15% de reciclado para bloques de EPS, y que las propiedades térmicas y mecánicas no se ven alteradas salvo la resistencia a la flexión.

8.4 - Propuesta de parámetros optimizados de pre-expansora

Se concluye que la temperatura, tiempo de calentado y kilos de carga de perla son los parámetros fundamentales para obtener una cierta densidad en la pre-expansión, de acuerdo con lo recabado en el marco teórico.

De esta manera, contrastando con los parámetros de la máquina e información de los manómetros, la temperatura (del vapor) viene determinada por la presión de vapor 2 (Vapor después de pasar por la válvula reguladora), la cual influencia a su vez a los termómetros de temperatura y presión del cilindro; la carga por ciclo es constante, 22kg, mientras que el tiempo total de calentado lo constituyen la suma de segundos de pre-calentado, calentado y estabilización, siendo solo calentado variable entre ciclos y los otros dos fijos; cabe destacar al respecto que es esperable que sea calentado en sí el más relevante, pues el pre-calentamiento es corto (<6 seg) en relación al calentado (18-21 seg) y estabilización (12 seg), mientras que en estabilización, si bien más extenso, constituye una etapa más bien de secado, donde se libera la presión al interior del cilindro y no se le entrega vapor adicional a la máquina; los resultados se resumen en la siguiente figura (figura 7):

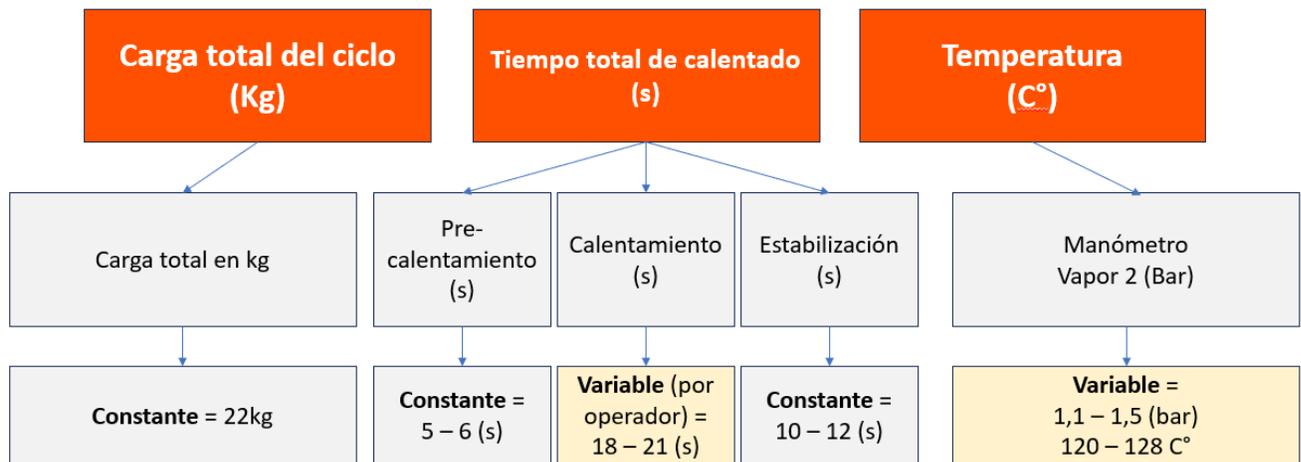


Figura 7: Resumen parámetros pre-expansión

De acuerdo con el manual, la máquina debería mantener la temperatura y presión constantes mediante su válvula reguladora de vapor, se valida que la medición de presión en el panel no funciona, la temperatura no coincide con el manómetro y marca temperaturas muy inferiores a las de pre-expansión, y durante el funcionamiento de la máquina el flujo de vapor nunca se corta (debería detenerse automáticamente después de alcanzada cierta temperatura o presión máxima fijada).



Figura 8: Panel pre-expansora

Teniendo ya identificados los factores relevantes para la pre-expansión, se realizan tomas de muestra de densidad en cada ciclo de pre-expansión, se toma a lo menos media hora de muestras en 4 ocasiones, registrando en cada una: Temperatura del cilindro (C°), vapor 1 (bar), vapor 2 (bar), estabilización (s), pre-calentado (s), calentado (s) y la densidad obtenida, tabulando y graficando para una visualización más rápida, graficas pueden consultarse en Anexo F, figura 1.

Se observa directamente cierta correlación entre vapor 1 (presión antes de la válvula reguladora), vapor 2 (presión después de la válvula reguladora) y la densidad obtenida, para explorar en ello se normalizan, se grafican y se calcula una matriz de correlación en cada caso, graficas pueden consultarse en anexo F, figura 2 y 3.

Se tiene una fuerte correlación entre vapor 1 y vapor 2, consistentemente bajas y subidas en vapor 1 se reflejan de similar proporción en vapor 2, de igual manera que existe una fuerte correlación inversa entre vapor 1 y 2 con la densidad obtenida.

Lo anterior indica que es posible que sea el ciclo mismo de la caldera lo que determina la densidad obtenida, con poca influencia del cambio de parámetros dada la pequeña magnitud de los ajustes que hace el operador (<0,4 seg), el mecanismo por el cual podría darse lo anterior es el siguiente: Vapor 2 es proporcional a vapor 1, es cual es un reflejo directo de la presión del acumulador de vapor y del ciclo de la caldera, cuando la presión es alta, vapor 2 es mayor, por lo que la temperatura del vapor es mayor, causando una mayor expansión y con ello un descenso en la densidad obtenida; en los puntos de menor presión es lo contrario, la temperatura es menor y con ello un resultado más denso (menos expandido).

Por último, se observa consistentemente cierta influencia del ciclo de la caldera en la densidad: cuando la presión va de su máximo hacia un mínimo, las densidades tienden a ser ligeramente menores a los casos donde la presión va desde su mínimo hasta el máximo, considerando los mismos valores de vapor 1; esto podría indicar ya sea cierto efecto residual hacia el próximo ciclo o distintas condiciones entre cuando el quemador está encendido u apagado.

En base a esto se crea un modelo de regresión considerando 3 regresores: Vapor 1, Tiempo de calentamiento y un tercer parámetro binario con 1 si la presión es mayor respecto al ciclo anterior, 0 si no; no se incluye vapor 2 por su fuerte correlación con vapor 1, y dado su escala más pequeña (1,1 – 1,5 Bar) es mayor el error de medición.

Se crea la regresión y se obtienen los siguientes parámetros (Figura 9):

Estadísticas de la regresión							
Coefficiente de correlación múltiple	0,917						
Coefficiente de determinación R ²	0,842						
R ² ajustado	0,814						
Error típico	0,985						
Observaciones	21						

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	3	87,547	29,182	30,095	5,03E-07
Residuos	17	16,485	0,970		
Total	20	104,031			

		Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Constante	Intercepción	46,786	4,003	11,687	1,506E-09	38,340	55,232
Vapor 1 (Bar)	Variable X1	-3,568	0,492	-7,258	1,338E-06	-4,605	-2,531
Temperatura (s)	Variable X2	-0,704	0,208	-3,381	0,004	-1,144	-0,265
Ciclo de la caldera (Binario) 1 si [Vapor 1 _(ciclo actual) > Vapor 1 _(ciclo anterior)	Variable X3	1,028	0,518	1,983	0,064	-0,066	2,121

Figura 9: Resultados regresión

Se obtiene un R cuadrado de 0,84, es decir, 84% de la variabilidad se explica por los regresores (Vapor 1, Temperatura y Ciclo de la caldera), con todos los coeficientes estadísticamente significativos; se validan los coeficientes calculando la densidad teórica (Densidad de predicha por la regresión) con el resto de los datos que no fueron usados para definir la regresión, que corresponden a días de distintas condiciones (sin la bloquera, y solo la pre-expansora funcionando; día de lluvia con ambas funcionando; y otro día de ambas funcionando). (Figura 10)

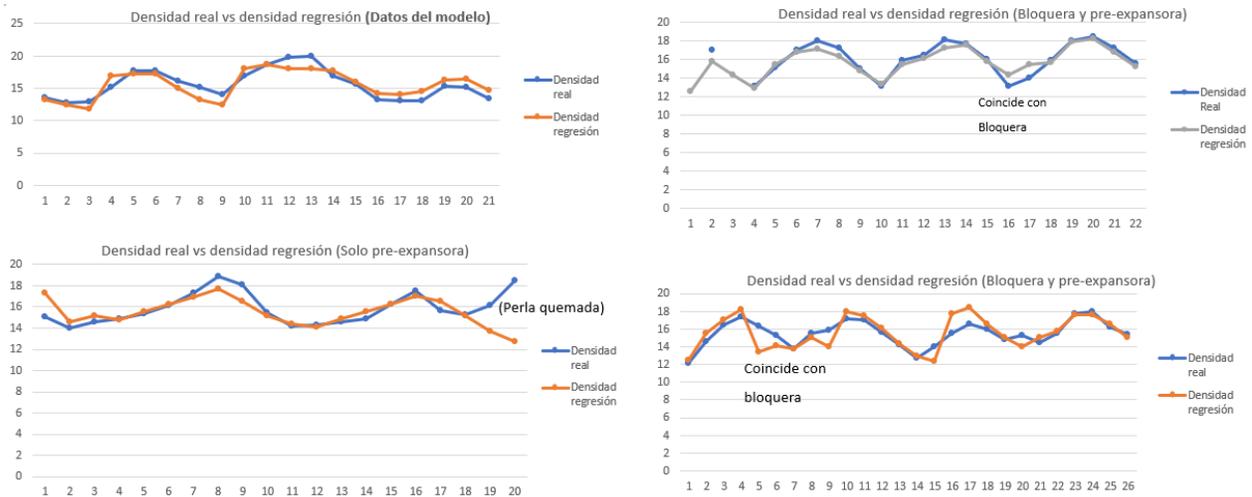


Figura 10 – Comparación entre densidad real y densidad de la regresión, casos especiales se relacionan con casos donde una situación particular afecta la medición.

Con esto se validan los coeficientes obtenidos al lograr un buen ajuste con el resto de los datos, y donde los datos que más difieren del modelo se explican a situaciones atípicas, un caso es el ejemplo de solo la pre-expansora, donde la regresión predice un mínimo de densidad (12-13) dado el valor máximo de vapor 1 (6,2 Bar), pero se obtiene un máximo (17-18); esto se explica por haber obtenido perla “achurrascada”, donde la perla disminuye en densidad en función de la temperatura del vapor solo hasta cierto punto, después el resultado es más denso pues la perla empieza a contraerse envés de aumentar volumen dado un calor excesivo.

Con estos resultados se concluye que el ciclo de la caldera explica en gran magnitud la variación de densidad obtenida en la pre-expansora, dada la magnitud del coeficiente de vapor 1 (-3,56), en un día regular de funcionamiento de ambas máquinas se espera una variación no controlable de mantener los parámetros constantes, del orden de 5,67g/cm³, explicada por los cambios de presión en el ciclo de la caldera. Se cuantifica a su vez el cambio en densidad al variar el parámetro de segundos de calentado, del orden de -0,7g/cm³ por cada segundo extra de calor, por lo que dado que los ajustes por parte del operador son del orden de (+- 0,2 - 1 seg.), es el ciclo de la caldera la principal determinante del resultado de la pre-expansión.

Propuesta de parámetros

No es posible controlar la densidad mucho más allá de lo actual mientras no se arreglen las condiciones mecánicas de la máquina, reducir la variabilidad requeriría ajustar parámetros constantemente ajustado al ciclo de la caldera, que es cercano a los 11 minutos, lo que no es factible.

Respecto al muestreo de densidad, es esperable tener variabilidad ciclo a ciclo como es demostrado por el ejercicio anterior, se propone realizar un muestreo no cada 15 minutos, sino idealmente desde un valor mínimo o máximo de presión de vapor 1 del manómetro, y realizar muestras consecutivas durante todo el ciclo de la caldera, es decir, hasta que se vuelve a llegar a un valor similar de presión, y solo en ese momento considerar si subir o bajar segundos de calor para desplazar el promedio de la curva obtenida; una vez fijado el parámetro, este no debería ser cambiado mientras el comportamiento de la caldera no sea significativamente distinto.

Debe ponerse atención a casos especiales como tener solo la pre-expansora funcionando puesto que el comportamiento de la caldera será considerablemente diferente, las presiones de vapor 1 en promedio serán más altas, la desviación menor, y el mínimo de vapor 1 nunca por debajo de los 5 Mpa, por lo que los segundos de calor fijados deben ser menores al caso de tener ambas máquinas funcionando.

Por último, de acuerdo al manual, hay parámetros que teóricamente no deberían ser parte del ciclo de la máquina, como lo es el pre-calentado, el cual tendría que omitirlo si la temperatura del cilindro ya es la adecuada, pero dado que no hay un correcto registro de la temperatura, la máquina no omite este paso; de igual manera que el parámetro de estabilización se entrega la referencia de 3-6 segundos, siendo al momento del estudio 12 segundos, aumentado debido a alta condensación de agua durante el proceso.

Ambos casos representan posibles oportunidades de reducir el tiempo de ciclo actual, considerando las conclusiones de secciones previas donde bajo una carga de 22kg, cada dos segundos de reducción en tiempo de ciclo se obtiene una ganancia de producción equivalente a 1 bloque extra.

9 – Discusiones

Para cada uno de los objetivos específicos, se cuestiona la decisión de la empresa en cuanto al proyecto como propuestas de extensiones al mismo; debe enfatizarse que, dada la metodología del proyecto, solo ciertos objetivos específicos se encuentran dentro de los planes de acción de la empresa, por lo que las conclusiones recabadas no necesariamente devienen en acciones.

9.1 - Efectuar levantamiento de procesos para bloquera, pre-expansora y caldera junto a sugerencias de mejora y capacidades de producción.

No se toman decisiones al respecto, se plantea como extensión del proyecto efectivamente validar las propuestas en su implementación, no se toma la falta de acción por parte de la empresa como una decisión negativa, pues son propuestas que, si bien no requieren inversión ni cambios en costo, sus beneficios son mejoras modestas al proceso en la mayoría de los casos, por lo que podrían priorizarse el tiempo en proyectos de mayor impacto.

La propuesta de redefinir los procesos de pre-calentado en las máquinas a modo de partir las máquinas en paralelo resulta el más significativo al permitir ganancias del orden de (18-37 min) en minutos de producción adicionales para la pre-expansora, por lo que se plantea como extensión al proyecto efectivamente tomar y hacer pruebas para implementar la propuesta.

Por otro lado se propone una investigación más a detalle respecto al funcionamiento de la caldera; un quemador no debe apagarse con frecuencia debido a que se magnifican los costos fijos de operación, y en el ciclo actual, el bajo nivel de agua después de fabricar un bloque fuerza en todos los casos un apagado del quemador; esto se conoce como ciclo corto y expone a la caldera a mayores daños mecánicos a largo plazo al operar de esta manera, junto a incremento de costos (Cada nuevo inicio tiene perdidas fijas por periodos de purga) y una pérdida de disponibilidad actual del 21% (Demora 2:30 min en volver a prender la llama, con un ciclo total de 11,5 min aprox).

Lograr una operación continua del quemador podría traducirse en mejoras significativas para la caldera que permitan reducir el tiempo de ciclo de la bloquera e incrementar la eficiencia energética en la caldera; por otro lado, cualquier mejora en la caldera que permita incrementar su eficiencia en cuanto a generación de vapor y con ello reducir el tiempo de ciclo de la bloquera, si se opera bajo ciclo corto, dado que son perdidas fijas, estas se magnifican mientras más ciclos se realicen durante el día, con lo que por

ejemplo reducir el tiempo de ciclo de 11,5min a 9,5min, vuelve un 21,7% de perdida de disponibilidad en un 24,7%, esto tomando como supuesto que mientras menor el ciclo de la bloquera (y con ello el de la caldera), menos demora en recuperar el nivel de agua dado menos ciclos de pre-expansión en paralelo (Figura 11).

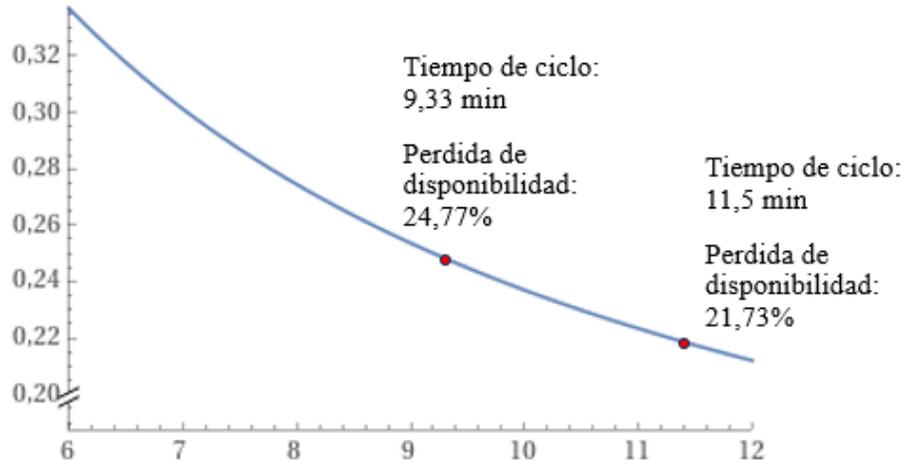


Figura 11: Magnificación de pérdidas fijas operando bajo ciclo corto

El mayor desafío al respecto es que, dado que es un proceso donde se requiere grandes cantidades de vapor en a momentos específicos, aún si se pudiera regular el nivel de agua para que no fuerce el apagado del quemador, se requiere un importante nivel de coordinación para ajustar la producción de vapor al consumo, y con ello mantener el quemador funcionando constante evitando pérdidas fijas.

De igual manera, el control de nivel de agua es relevante reconsiderarlo, el ejercicio de analizar el comportamiento de la caldera con ambas máquinas o solo la bloquera muestra que hay pérdidas importantes de disponibilidad debido a que el quemador no puede partir sin el nivel de agua adecuado, y toda el agua consumida durante el proceso de pre-expansión y moldeo se renueva en el mismo momento, después de la inyección de vapor para moldear un bloque, retrasando el inicio del quemador.

Un sistema de control que permita modular el nivel de agua de tal forma que el consumo de agua por la pre-expansión sea suplido antes que se consuma nuevamente vapor en la bloquera puede traer mejoras significativas al proceso, descrito a mayor detalle en el capítulo 8.1 de resultados.

9.2 - Realizar mapeo general de la planta de Pol, con sus dimensiones, componentes y capacidad de almacenamiento de bloques

Se considera adecuadas las decisiones tomadas por la empresa, entre las propuestas para aumentar la capacidad de almacenamiento, se decide implementar aquellas que se puedan realizar directamente sin inversión de por medio como lo sería remover cimientos que impiden el uso de espacio, con ello se logra incrementar la capacidad de la planta al corto plazo tan solo reubicando cosas que no correspondían ser almacenados en esos lugares, obteniendo las mismas ganancias de espacio sin grandes costos asociados.

9.3 - Determinación del impacto en calidad y propiedad con el uso de material reciclado, y apoyo en determinación del porcentaje de reciclado

Se considera acertada la decisión tomada por la empresa de medir directamente cual es el porcentaje real de reciclado, pues si bien se incurre en costos por motivos de parar la producción y ocupar al personal en pruebas, muchos son los factores posibles que considerar en un cálculo teórico, con poca información medible dentro de los procesos, lo que vuelve necesario un cálculo real.

Obtenido el resultado (10% y 50% son en realidad 3,3% y 10%), se toma la decisión de fabricar bloques a un porcentaje único del 10% independiente del uso, se plantea la decisión como positiva basado en la investigación realizada, donde no se encuentran diferencias significativas entre un bloque con y sin reciclado salvo en su capacidad de resistir flexión; un enfoque propuesto más conservador habría sido destinar los porcentajes más altos para planchas de mayor espesor, de tal forma que la flexión no sea un factor relevante como podría serlo con espesores más pequeños.

Por otro lado, la decisión soluciona de una vez la problemática de la capacidad de la planta causada por la sobreproducción de bloques con mayor reciclado para trapecios y bases, en el nuevo ciclo cada bloque fabricado consume más reciclado de lo que genera, con lo que al mediano plazo es esperable no volver a tener problemas con la acumulación de reciclado.

Un punto relevante es que si bien la densidad es uno de los mejores aproximadores a las propiedades aislantes y mecánicas del material, podría haber sido importante realizar un estudio del cambio en las propiedades de la plancha entre la condición previa (3,3%) y nueva (10%) en distintos espesores, yendo más allá de solo controlar por posibles cambios en densidad, que, si bien es un buen estimador de las propiedades del producto, no es el único factor; Esto habría requerido tomas de muestra e inversión tanto de personal como monetarias en las distintas pruebas, sin embargo, la información obtenida es un dato relevante pues permite descartar que cualquier cambio ya sea en reclamos de clientes, problemas durante el formado de planchas o dificultades en la operación en la planta de frío pueda deberse específicamente al incremento del porcentaje de reciclado, la falta de esta variable crea un nuevo punto de incertidumbre para el proceso, pues se asume que nada ha cambiado mientras no se detecte algún cambio significativo.

9.4 - Propuesta de parámetros optimizados de pre-expansora

No se llegan a tomar decisiones respecto a este punto considerando que la presentación de sus conclusiones coincide con el final del periodo de práctica.

Se reconocen como limitaciones del estudio el cambio de materia prima y parámetros hacia el fin del proyecto, que podría alterar los coeficientes obtenidos por el modelo, y que el estudio tan solo se limita a validar la hipótesis de la dependencia de la pre-expansión sobre el ciclo de la caldera, una posible extensión del proyecto consiste en incluir distintos casos donde se espera que la caldera difiera de su comportamiento regular (por ejemplo días de lluvia o la bloquera apagada) y encontrar los segundos de calentamiento óptimos en cada caso, definiendo mediante los parámetros de la regresión tablas sencillas que permitan al operador, habiendo observado si la presión del manómetro va en subida o bajada respecto al ciclo anterior, y el valor de vapor 2, si la densidad obtenida está dentro de un rango esperado; en el proceso actual, tomar el valor de la densidad sin considerar el instante del ciclo que se encuentra la caldera puede llevar a un operador poco experimentado a ajustes innecesarios o en el sentido contrario al requerido en casos donde un exceso de calor lleva a encoger la perla.

Por otro lado, es posible hacer pruebas tomando la misma metodología de tomas de densidad del presente proyecto para acortar el tiempo de ciclo, reduciendo segundos de estabilización, eliminando el parámetro de pre-calentamiento (que de acuerdo al manual no tiene relevancia una vez la máquina alcanza la temperatura del cilindro adecuada) y ajustando los segundos de calentamiento acorde.

Por último, especial énfasis debe hacerse a que no hay un correcto funcionamiento de la regulación de temperatura y presión de la máquina, arreglar estos aspectos mecánicos significaría la posibilidad de tener una densidad de pre-expansión constante, donde variaciones en el comportamiento de la caldera no afectarían los resultados obtenidos, esto abre las posibilidades a, habiendo estandarizado a su vez los tiempos de reposo, optimizar el parámetro de vapor en la bloquera, donde la metodología de acuerdo al manual consiste en reducir los segundos de vapor en la medida de lo posible mientras se mantenga calidad y se prevengan pérdidas; de igual manera que una densidad constante se traduce en mejoras de calidad del producto.

10 – Conclusión

Se presenta a continuación conclusiones respecto a cada objetivo específico como observaciones generales del proyecto.

10.1 – Objetivos del proyecto

Se logra cumplir con todos los objetivos específicos del proyecto, sin embargo, no en toda la extensión propuesta, datos que se pretendía obtener, como la capacidad de almacenamiento de silos de pre-expansión, y producción real de la pre-expansora no fueron levantados; el mapa de la planta se hizo a escala en base a sus dimensiones, pero estas no quedaron detalladas en el mapa, así como también los espacios fuera del galpón no están al detalle buscado; en cuanto al diagrama BPMN, no cuenta con simbología las actividades de la bloquera, y falta expandir en las actividades que se realizan después de la puesta en marcha; estas falencias son debido principalmente a temas de prioridad, falta de tiempo y un inicio más tardío del proyecto dado la reestructuración del equipo y tareas asignadas que no eran parte del proyecto, acercando el periodo de fin de practica se priorizó en validar aspectos que se consideraron fundamentales para las conclusiones.

Respecto a los parámetros de pre-expansión; no se logra determinar el objetivo inicial de fijar parámetros óptimos que permitan una densidad estable ciclo a ciclo, esto debido a que las condiciones mecánicas de la máquina lo imposibilitan, sin embargo, se logra validar que la variación en densidad es predecible y explicada por cambios de presión en la caldera, así como cuantificar la magnitud de esta variación.

Un alcance importante al respecto es que no se tiene cuantificado cuales serían los beneficios en cuanto a calidad del producto con la estabilización de la densidad en la pre-expansión, se asume mejor conociendo que son las condiciones óptimas y deseables para el proceso de acuerdo tanto al manual de las máquinas como el marco teórico recabado. Este punto requiere un análisis más allá de lo teórico por parte de control de calidad, en determinar cuál es el impacto real sobre las propiedades del producto debido a las variaciones de densidad en la perla pre-expandida, más allá de solo evaluar la densidad de la plancha, puesto que, incluso obteniendo una densidad adecuada, nada asegura que esta sea homogénea a lo largo del producto.

El estudio sobre el funcionamiento de la caldera toma especial relevancia para el objetivo general de aumentar la producción y reducir costos en la bloquera, se logran identificar anomalías en el funcionamiento de la caldera que podrían traer mejoras significativas de poder ser solucionadas, pues dado lo levantado del proceso de la bloquera, es la

generación de vapor por parte de la caldera el principal determinante en el tiempo de ciclo fijado por el operador; sin embargo solucionar estas anomalías es también uno de los puntos que requeriría más inversión y dificultades técnicas para la empresa.

Dicho esto, se considera parcialmente logrado el objetivo principal del proyecto, se identifican los factores críticos para el mejoramiento de la producción y calidad en la Bloquera, sin haberse obtenido mejoras durante el proyecto en sí, pues queda en función de los intereses y prioridades de la empresa implementar o no las propuestas, o expandir en base a los levantamientos realizados.

10.2 - Conclusiones generales

Dos son las limitantes para obtener una mayor producción de bloques, por un lado, suficiente cantidad de material pre-expandido, por el otro, un menor tiempo de ciclo en la bloquera que admita una mayor producción en el mismo tiempo.

La pre-expansión se considera como un cuello de botella de acuerdo con levantamientos previos de los cuales no se tuvo acceso, en el presente levantamiento no se encuentra que ello sea posible si se considera las horas productivas, tiempo de ciclo y carga por ciclo, de igual manera que no fue algo observado durante el periodo de práctica salvo en casos particulares como detenciones mecánicas o el operador llevado a otro centro de trabajo; sin embargo, si se detecta cierta discrepancia entre lo teórico al observarse una menor producción diaria a la esperada, para lo cual se entrega como hipótesis que la carga por ciclo podría ser menor a los 22kg. Se recomienda investigar y expandir en determinar la razón de la discrepancia. Por otro lado, basada en las oportunidades de mejora detectadas, podría ser posible ganar alrededor de 30min de producción extra diarias en la pre-expansora de conseguirse iniciar el precalentamiento de ambas máquinas en paralelo, equivalentes a material para la formación de aproximadamente 5 bloques.

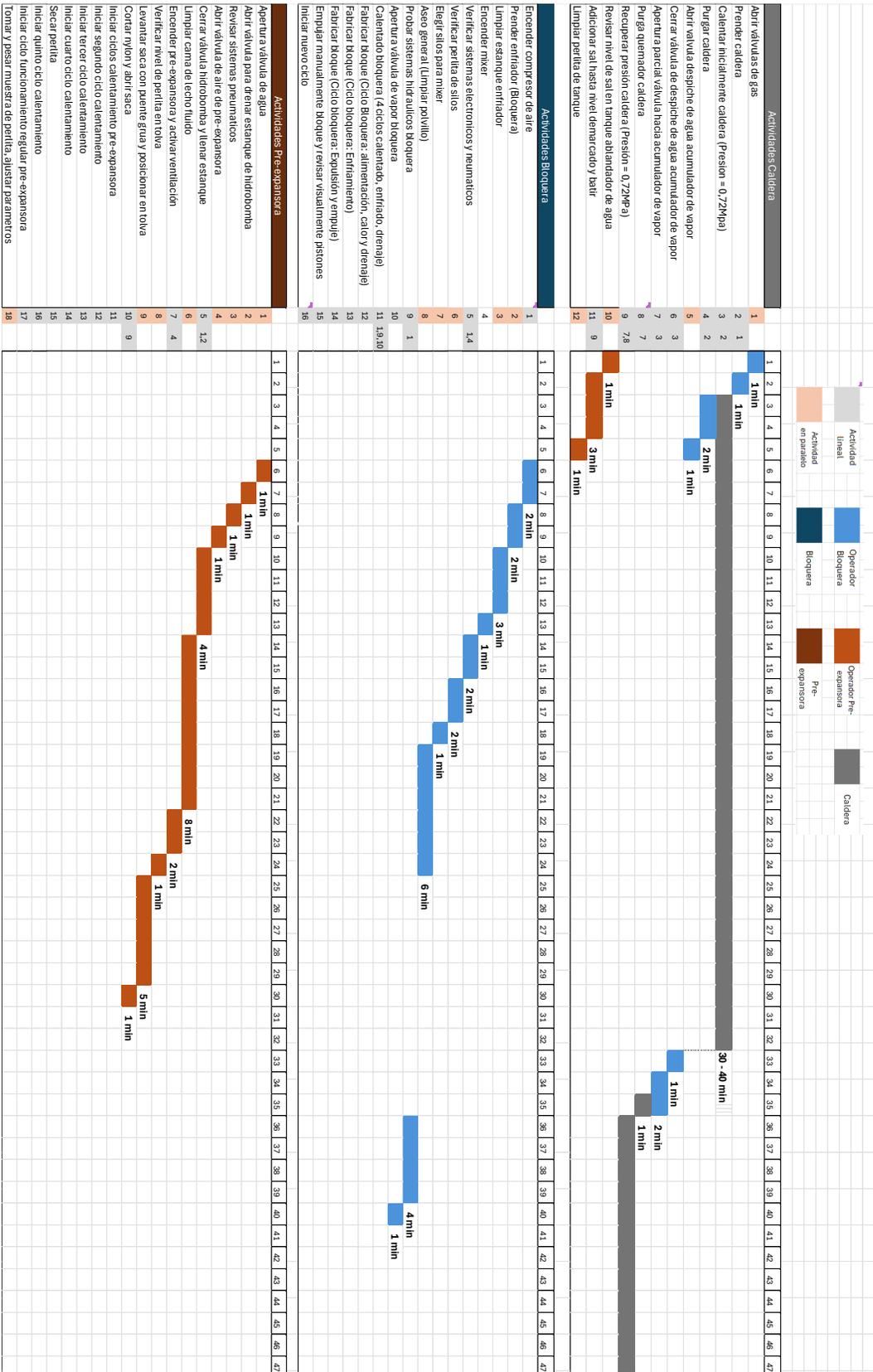
En otro sentido, son modestas las ganancias de horas productivas obtenibles en la bloquera con modificaciones al flujo, dado que la puesta de inicio del proceso está limitado a la generación de vapor en la caldera, por lo que un incremento de producción requeriría necesariamente mejoras en la capacidad de generación de vapor para poder soportar tiempos de ciclos más bajos. Al respecto, toma especial relevancia el ciclo corto detectado en la caldera como la propuesta a la modulación del nivel del agua del sistema, ambos casos representan oportunidades de obtener mejoras significativas en cuanto a la disponibilidad de la caldera, y asumiendo que la mejora en disponibilidad puede traducirse directamente en reducciones al tiempo de ciclo, ello significativa una reducción del tiempo de ciclo de hasta 150s y 90s respectivamente, permitiendo de esa forma operar en los menores tiempos de ciclos que soporta el proceso y obteniendo mejoras de aproximadamente 4-6 bloques producidos diarios, actualmente equivale a una hora de extra de producción.

10-Bibliografía

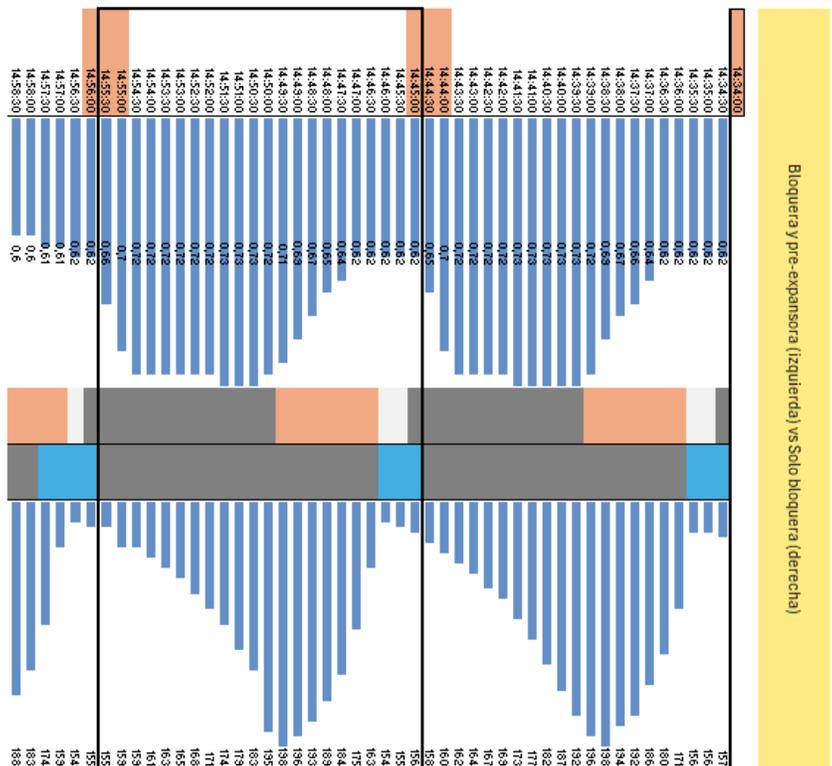
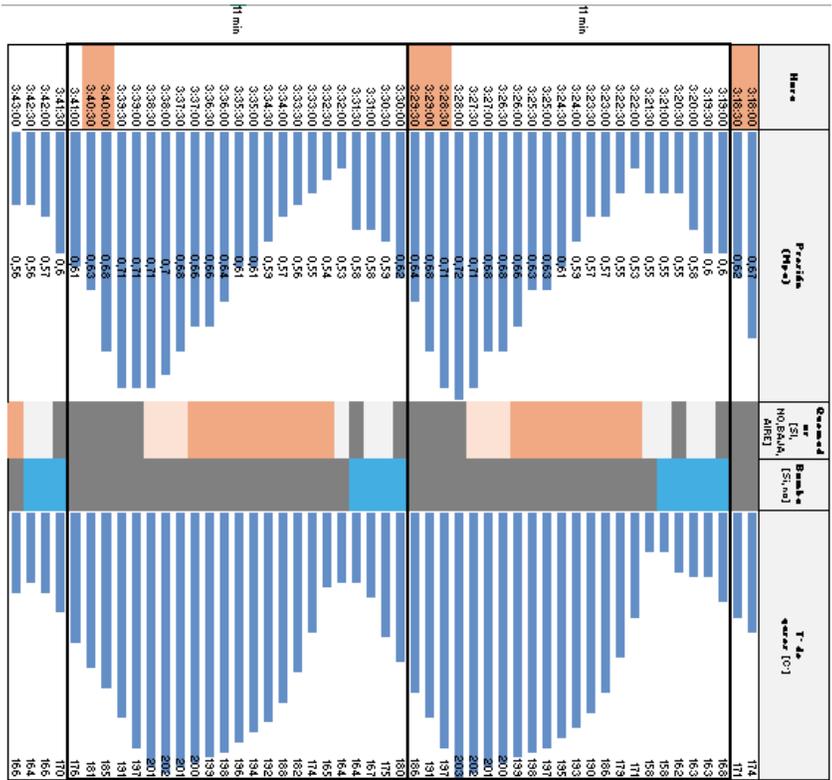
- 1- Switzerland global Enterprise. (2020). *Construcción en Chile*. Consultado en: <https://www.s-ge.com/sites/default/files/publication/free/s-ge-20204-c5-chile-cleantech-construccion.pdf>
- 2- Abuaud, R. (2024). *La construcción en crisis*. Consultado en: <https://www.latercera.com/opinion/noticia/columna-de-ricardo-abuaud-la-construccion-en-crisis/SLUVVXATJZGL7KMEPK5W7UEFYE>
- 3- Feller, V. (2022). *Rediseño del proceso de seguimiento y gestión de productos nuevos lanzados al mercado de materiales y sistemas constructivos para fabricante Cintac S.A.I.C.*. Consultado en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/187373>
- 4- Jepsa. (s.f). *What's EPS*. Consultado en: (https://www.jepsa.jp/en/whats_eps/ ;)
- 5- Central Building Research Institute. (2017). *Manual for Expanded Polystyrene (EPS) Core Panel System and its field Application*.
- 6- T, Pacyniak & R, Kaczorowski. (2010). *Investigations of polystyrene pre-expansion process by use of test stand equipped with batch pre-expander*.
- 7- Yan, L. (1998). *The prediction of drying time of expanded polystyrene blocks*.
- 8- Vaitkus, S., Laukaitis, A., Gnipas, A., Keršulis, V & Vejelis, S. (2006). *Experimental Analysis of Structure and Deformation Mechanisms of Expanded Polystyrene (EPS) Slabs*.
- 9- Imran, S., Akhtar, Z., Noor, A., Anjum, I., Algahtani, A., Javaid, S & Gupta, R (2019). *Optimising Parameters for Expanded Polystyrene Based Pod Production Using Taguchi Method*.

- 10- Buczkowska, K., Kaczorowski, R & Pacyniak, T. (2013). *Research on the Influence of Basic Parameters of the Pre-Expansion of Granules Density.*
- 11- Harðarson, J. (2023). *Maturing of pre-expanded polystyrene Effects of heat on maturing time and material strength.*
- 12- Buczkowska, K & Pacyniak, T. (2014). *The Aging Time Effects of the Pre-expanded Polystyrene on the Patterns Mechanical Properties.*
- 13- Barrera, G., Ocampo, L & Florez, J. (2017). *Production and characterization of the mechanical and thermal properties of expanded polystyrene with recycled material.*
- 14- Acierno, S., Carotenuto, C & Pecce, M. (2010). *Compressive and Thermal Properties of Recycled EPS Foams.*
- 15- Visight. (s.f). *EPS Auto Batch Pre-Expander, EPS Beads Making Machine. Consultado de: <https://www.vi-sight.com/eps-auto-batch-pre-expander-eps-beads-making-machine>*

Anexo B: Actividades planta Pol



Anexo D: Gráficos caldera



Se observa el comportamiento de cada parámetro en dos casos particulares: ambas máquinas funcionando (izquierda) y solo la bloquera (derecha), en versiones iniciales del ejercicio no se considera aún registrar el nivel de agua.

Los tiempos de celda naranja representan los instantes donde se está inyectando vapor en la bloquera, y el recuadro demarca cada ciclo de la caldera, considerando donde parte la inyección de agua en cada caso

Anexo E: Mapa general de la planta

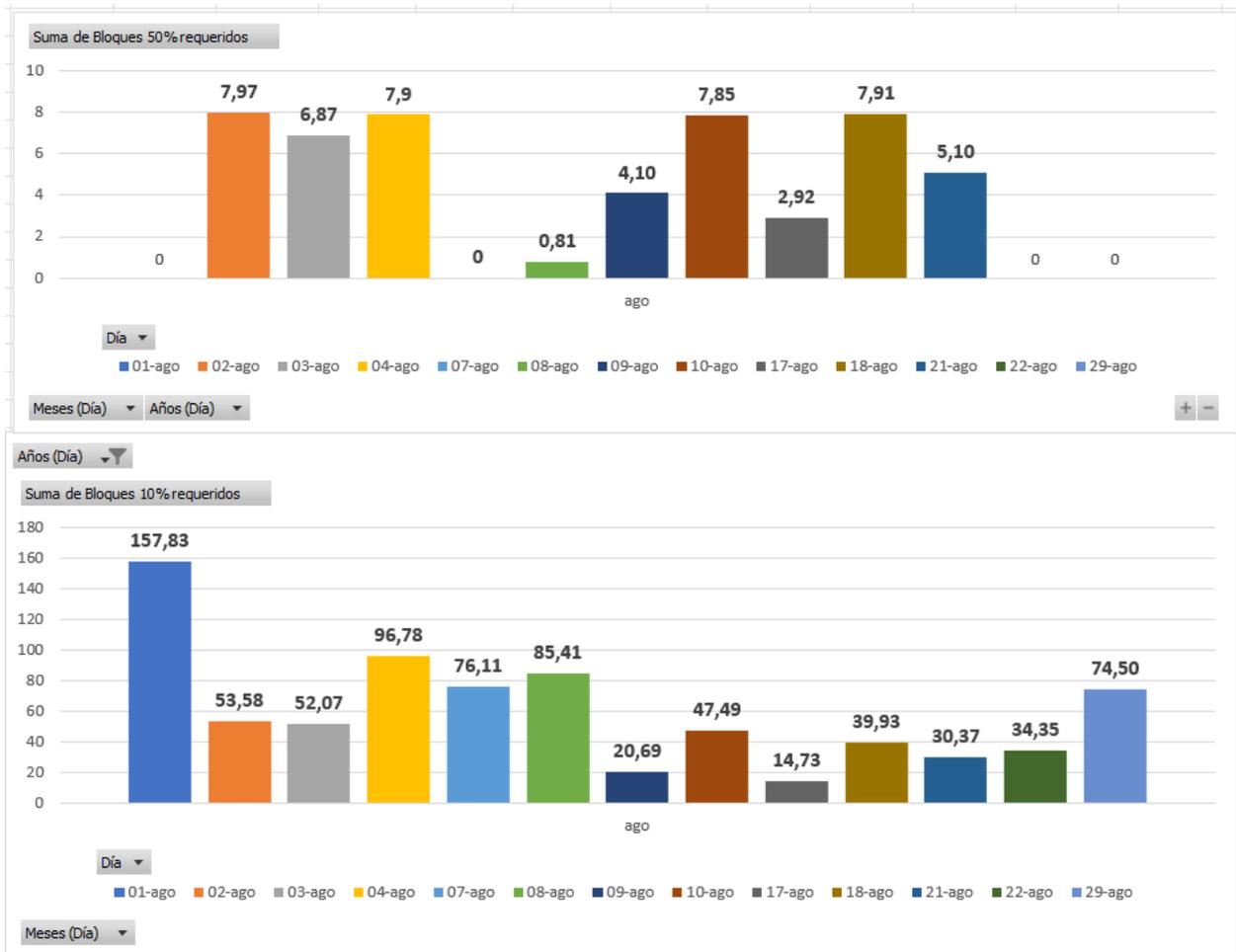


Figura 1: Demanda de cada tipo de bloques en base a producción de planchas en EPS-1

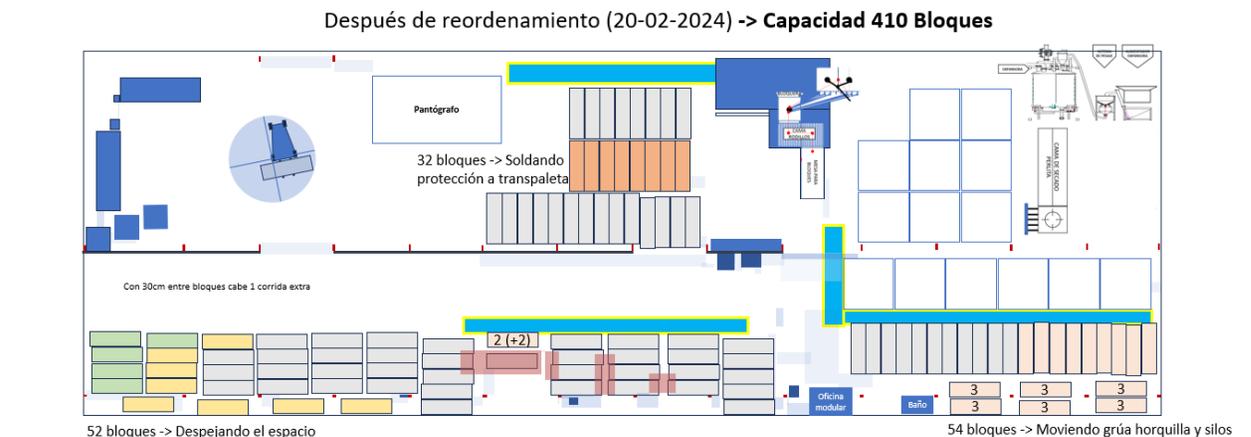


Figura 2: Mapa con propuestas de mejora

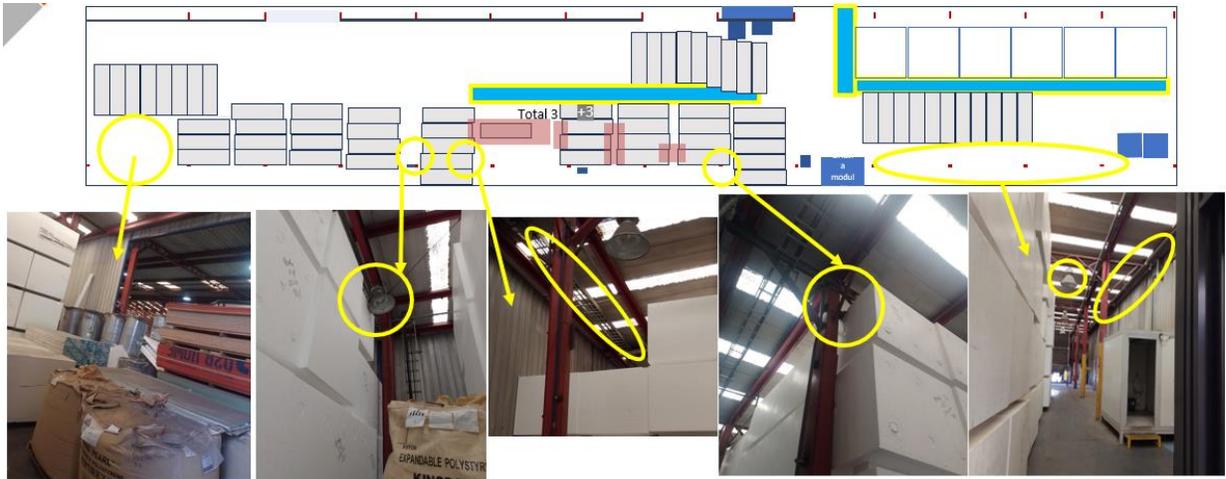


Figura 3: Problemas estructurales y limitantes a la capacidad

Anexo F: Toma de muestras

Temperatura cilindro								
Hora	T° Inicial	T° Final	Vapor 1 (Bar)	Vapor 2 (Bar)	Densidad obtenida	Heating (s)		
11:36:43	92	104	5,8	1,2		17	19,2	
11:38:26	92	106	5,2	1,3		17	19,2	
11:40:09	92		5,6	1,4			19,2	
11:41:52	92	110	6	1,5		13,1	19,2	
11:43:35	92	106	5	1,2		15,1	19,2	
11:45:18	92	104	4,6	1,1		17	19,4	
11:47:01	92	104	4,5	1,1		18	19,4	
11:48:44	92	104	5	1,2		17,2	19,4	
11:50:27	92	106	5,4	1,3		15	19,6	
11:52:10	92	108	5,8	1,5		13,1	19,6	
11:53:53	91,5		5	1,3		15,9	19,2	
11:55:36	92	105	4,8	1,2		16,4	19,2	
11:57:19	91	104	4,5	1,1		18,1	19,2	
11:59:02	91	104	4,7	1,2		17,7	19,2	
12:00:45	91	105	5,2	1,2		16	19,2	
12:02:28	91	106	5,6	1,4		13,1	19,2	
12:04:11	91		5	1,2		14	19,2	
12:05:54	91	105	5	1,29		15,9	18,9	
12:07:37	91	105	4,4	1,1		18	18,8	
12:09:20	91	104	4,6	1,1		18,4	18,8	
Hora	T° Inicial	T° Final	Vapor 1 (Bar)	Vapor 2 (Bar)	Densidad obtenida	Heating (s)		
11:36:43			5,8	1,5		13,5	19,5	
11:38:26			6	1,5		12,8	19	
11:40:09			5,8	1,5		12,9	19	
11:41:52			4,65	1,2		15,2	19	
11:43:35			4,6	1,1		17,8	18	
11:45:18			4,9	1,2		17,7	18	
11:47:01			5,4	1,4		16,1	18	
11:48:44			5,8	1,5		15,2	18	
11:50:27			6	1,5		14	18	
11:52:10			4,4	1		17	18	
11:53:53			4,6	1,2		18,6	18	
11:55:36			4,4	1,1		19,3	18	
11:57:19			4,4	1,1		19,3	19	
11:59:02			4,8	1,2		16,9	19	
12:00:45			5,2	1,3		15,7	21	
12:02:28			5,6	1,4		13,2	21	
12:04:11			5,3	1,4		13,1	21	
12:05:54			5,2	1,3		13,1	21	
12:07:37			4,8	1,2		15,4	19,5	
12:09:20			5,1	1,3		15,1	19,5	
12:11:03			5,5	1,4		13,4	19,2	
Hora	T° Inicial	T° Final	Vapor 1 (Bar)	Vapor 2 (Bar)	Densidad obtenida	Heating (s)		
11:36:43			6	1,5		12,1	19,8	
11:38:26			5	1,3		14,6	19	
11:40:09			4,6	1,1		16,4	19	
11:41:52			4,25	1,1		17,4	19	
11:43:35			5,9	1,2		16,3	19	
11:45:18			5,4	1,3		15,3	19	
11:47:01			5,8	1,5		13,8	19	
11:48:44			5,2	1,3		15,5	18,7	
11:50:27			5,8	1,2		15,9	18,7	
11:52:10			4,4	1,1		17,1	18,7	
11:53:53			4,8	1,2		17	18,7	
11:55:36			5,2	1,3		15,6	18,7	
11:57:19			5,6	1,4		14,2	18,1	
11:59:02			5	1,2		12,7	18,1	
12:00:45			5,9	1,3		14	18,9	
12:02:28			4,4	1,1		15,5	18,7	
12:04:11			4,5	1,2		16,6	18,7	
12:05:54			5	1,2		16	19,1	
12:07:37			5,4	1,3		14,8	19,1	
12:09:20			5,8	1,5		15,3	18,7	
12:11:03				1,2		14,5	18,7	
12:12:46			5	1,2		15,5	18,7	
12:14:29			4,4	1,1		17,7	19,1	
12:16:12			4,4	1,1		18	19,1	
12:17:55			5	1,2		16,2	19,1	
12:19:38			5,4	1,4		15,4	19,1	
Hora	T° Inicial	T° Final	Vapor 1 (Bar)	Vapor 2 (Bar)	Densidad obtenida	Heating (s)		
11:36:43			5,2	1,4		15,1	17	
11:38:26			5,95	1,5		14	17	
11:40:09			6	1,5		14,6	16	
11:41:52			5,8	1,5		14,9	16	
11:43:35			5,6	1,45		15,4	16	
11:45:18			5,4	1,4		16,1	16	
11:47:01			5,2	1,3		17,3	16	
11:48:44			5	1,2		18,9	16	
11:50:27			5,4	1,4		18,1	17	
11:52:10			5,8	1,5		15,5	17	
11:53:53			6	1,5		14,2	17	
11:55:36			5,8	1,5		14,3	17	
11:57:19			5,6	1,4		14,6	17	
11:59:02			5,4	1,4		14,9	17	
12:00:45			5,2	1,3		16,2	17	
12:02:28			5	1,3		17,5	17	
12:04:11			5,4	1,4		15,7	17	
12:05:54			5,8	1,5		15,3	17	
12:07:37			6,2	2,6		16,1	17	
12:09:20			6,2	2,7		18,5	17	

Figura 1 : Muestras de densidad, ultima corresponde a caso solo pre-expansora

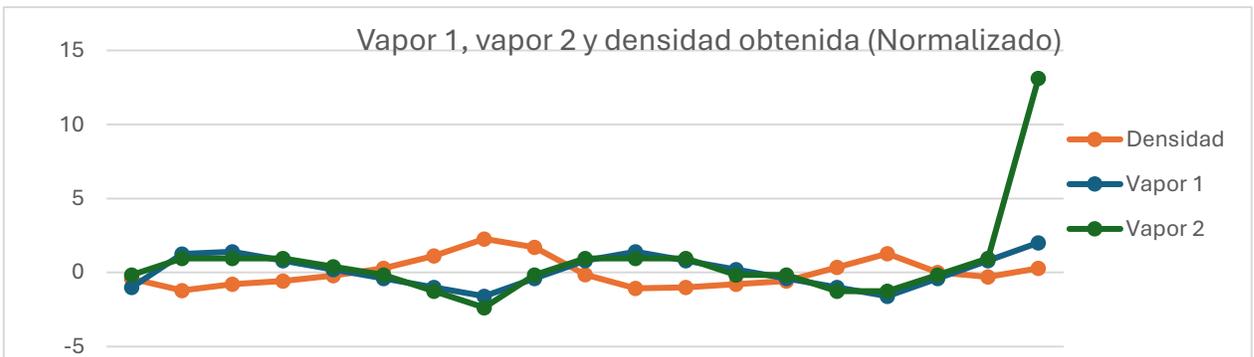
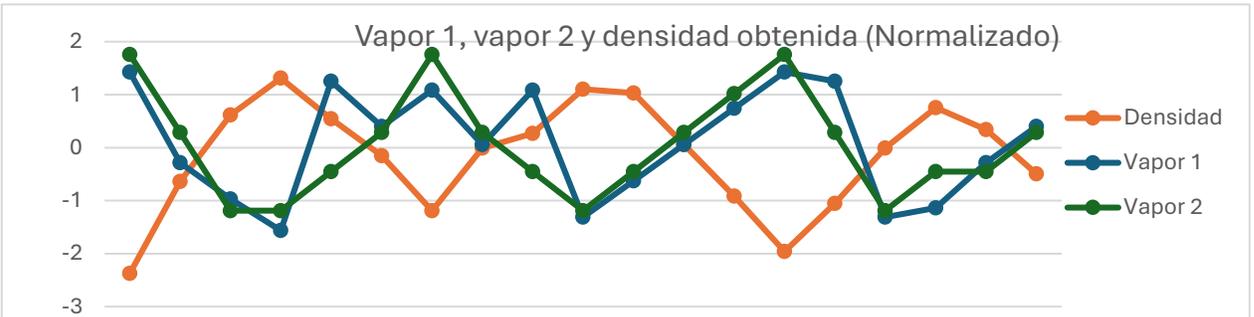
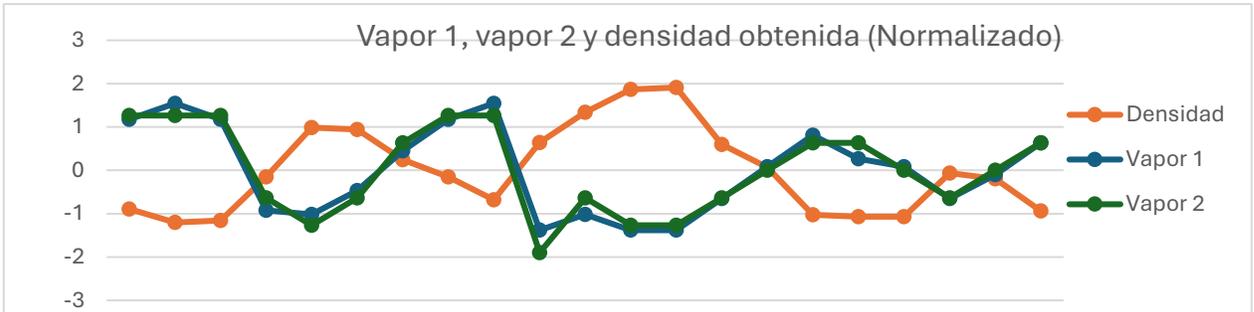
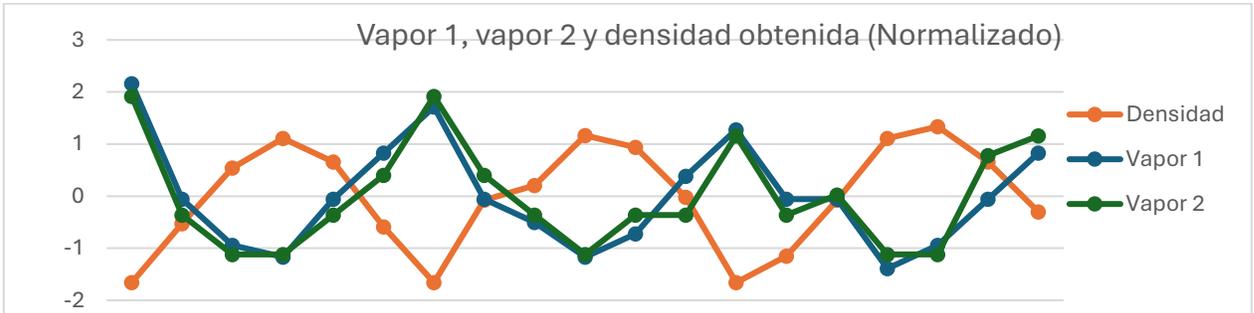


Figura 2: Vapor 1, vapor 2 y densidad obtenida (normalizado)

	<i>Vapor 1 (Bar)</i>	<i>Vapor 2 (Bar)</i>	<i>Densidad</i>	<i>Heating (s)</i>
Vapor 1 (Bar)	1			
Vapor 2 (Bar)	0,974499461	1		
Densidad	-0,814089466	-0,793101453	1	
Heating (s)	0,221310184	0,248033372	-0,550763583	1
	<i>Vapor 1</i>	<i>Vapor 2</i>	<i>Densidad</i>	<i>Heating</i>
	<i>Vapor 1 (Bar)</i>	<i>Vapor 2 (Bar)</i>	<i>Densidad</i>	<i>Heating (s)</i>
Vapor 1 (Ba	1			
Vapor 2 (Ba	0,814175701	1		
Densidad	-0,77622024	-0,81166663	1	
Heating (s)	0,199708589	0,318431917	-0,38623364	1
	<i>Vapor 1 (Bar)</i>	<i>Vapor 2 (Bar)</i>	<i>Densidad</i>	<i>Heating (s)</i>
Vapor 1 (Bar)	1			
Vapor 2 (Ba	0,925001206	1		
Densidad	-0,77965633	-0,81127721	1	
Heating (s)	0,066931475	0,178796063	-0,25854384	1

Figura 3: Matriz de correlación